

第 153 回
火山噴火予知連絡会
火山活動資料

伊豆・小笠原地方
その2

令和6年2月 20 日

目次

伊豆・小笠原地方 その2

硫黄島	3
気象庁 3-13、気象研 14-16、防災科研 17-37、地理院 38-45、海保 46-57	
JAXA 58-62	
福徳岡ノ場・南硫黄島	63
海保 63-67、JAXA 68-70	
気象庁資料に関する補足事項	71

硫黄島

(2023年6月~2023年12月)

翁浜沖での噴火活動が断続的に発生した。6月に小規模な噴火が発生した後、10月下旬から始まった噴火はこれまでの噴火より規模が大きく、噴出したマグマにより新たな陸地が形成され成長した。黒色の水柱や噴煙を伴う噴火が12月上旬まで続き、爆発音や空振を伴う噴火も観測された。噴火が一旦休止してからは、新たな陸地は波浪による侵食でその面積は小さくなった。その後、12月末から噴火が再開している。

翁浜沖以外でも11月に島北東部の海岸でごく小規模な噴火が発生した。

長期的に島全体の隆起を示す地殻変動がみられ、多くの噴気地帯や噴気孔があり、各所で小規模な噴火が時々発生していることから、従来から小規模な噴火がみられていた領域も含め、今後も噴火が発生する可能性がある。

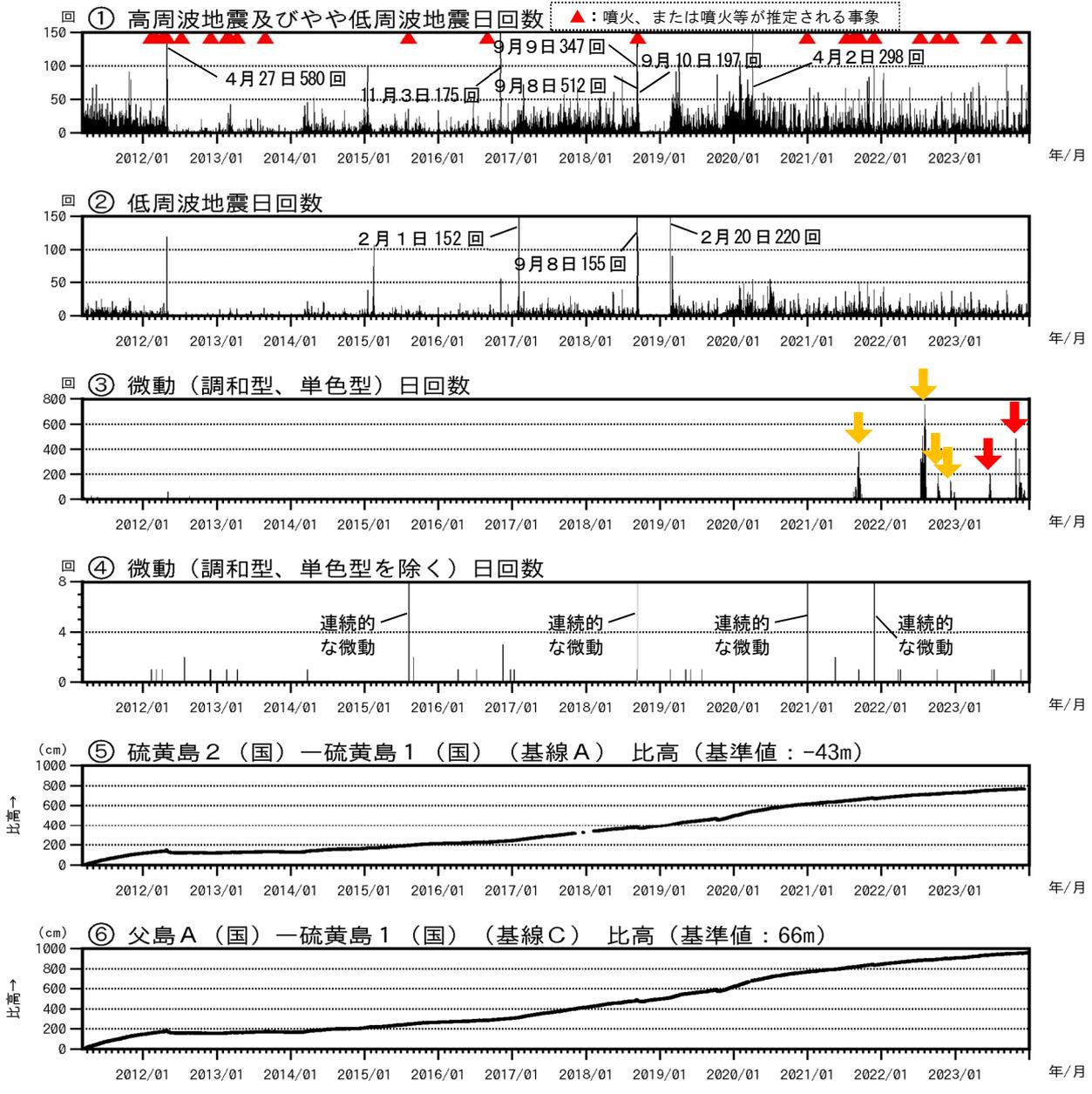


図1 硫黄島 火山活動経過図 (2011年3月8日~2023年12月31日)

(図 1 の説明)

- 海上自衛隊硫黄島航空基地隊によると、翁浜沖 (図 2 赤丸) では噴火が断続的に発生した。6 月 15 日から 24 日にかけて小規模な噴火が発生し、10 月 21 日から 12 月 10 日にかけて発生した噴火は、これまでより規模の大きい噴火であった。翁浜沖での噴火活動は 12 月 11 日以降一旦停止したが、12 月 31 日以降も噴火が発生している。この他、11 月 18 日には島北東部の海岸 (図 2 緑丸) でごく小規模の噴火が確認された。
- 火山性地震は、一時的な増加はあったものの、やや少ない状態で経過した。
- 単色型微動は、翁浜沖の噴火に伴い増加した (赤矢印)。単色型微動の増加は、2021 年及び 2022 年の翁浜沖での噴火の際にもみられた (橙矢印)。
- GNSS 連続観測では、長期的に島全体の隆起が継続している。

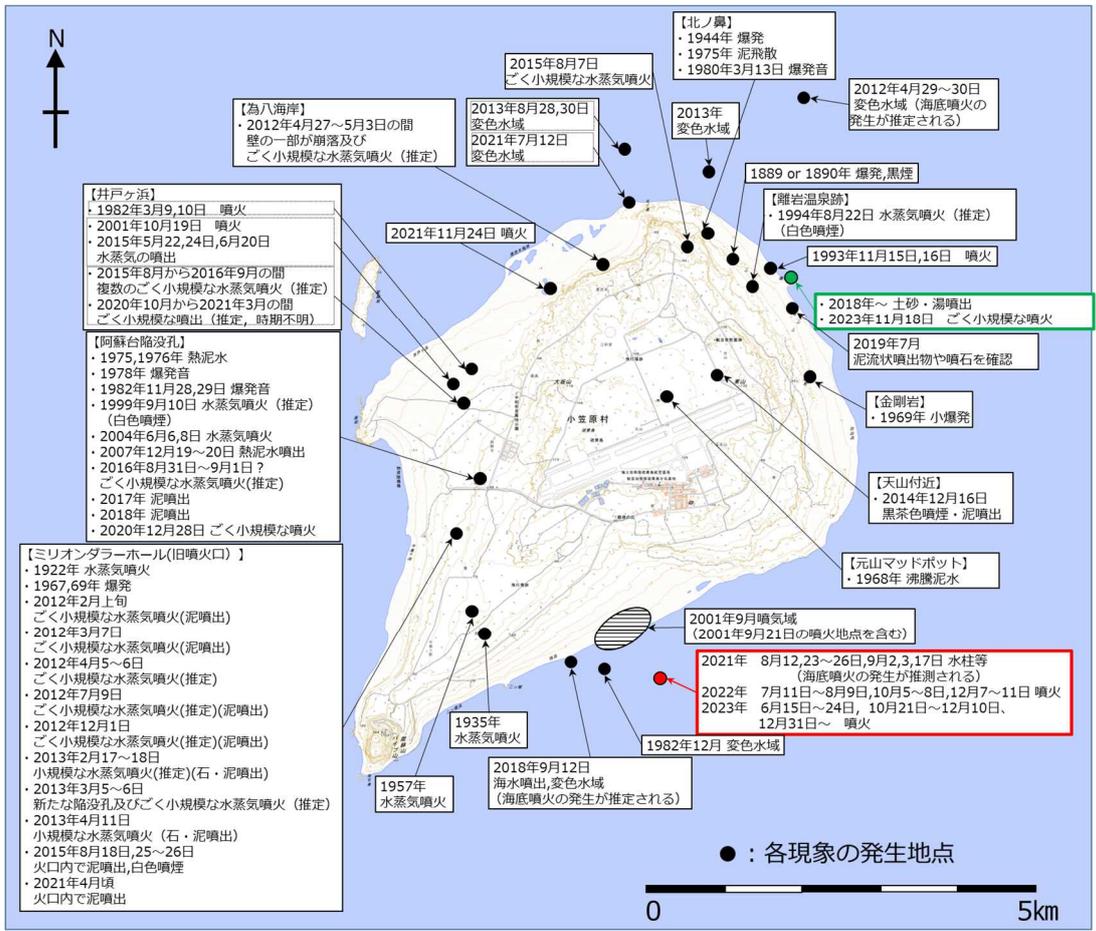
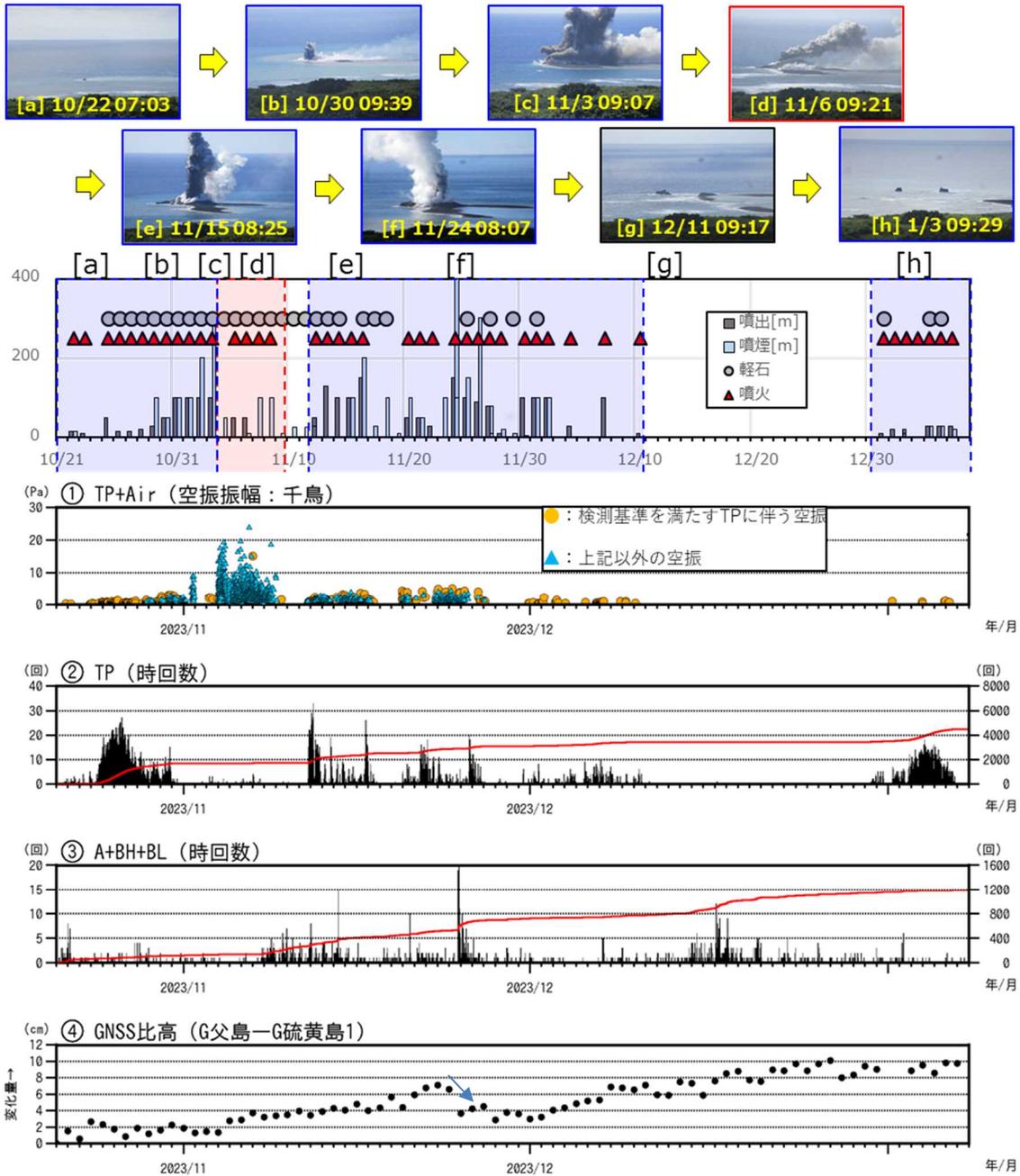


図 2 硫黄島 過去に噴火等が確認された地点及びその後の状況

「鵜川元雄・藤田英輔・小林哲夫, 2002, 硫黄島の最近の火山活動と 2001 年噴火, 月刊地球, 号外 39 号, 157-164.」を基に、気象庁において一部改変及び 2004 年以降の事象について追記



※写真及び噴火の様子は海上自衛隊硫黄島航空基地隊からの報告による

図3 硫黄島 火山活動経過図 (2023年10月21日~2024年1月7日)

- ・ 10月21日より翁浜沖で噴火活動開始。黒色の噴出物を含んだ水柱や噴煙が数分間隔で発生。変色水や軽石の浮遊も確認。空振を伴う単色型微動 (TP) が増加し10月26日をピークに減少。[a]
- ・ 10月30日に新たな陸地の形成を確認。噴出が徐々に増大し11月3日には数秒間隔で噴出。立ち上がりが見え空振が増える一方で、単色型微動の振幅は小さくなる。[b][c]
- ・ 11月4日より身体に感じる程度の爆発音、空振を伴う噴火が数分間隔で発生し9日まで続く。噴火に伴う空振により励起された震動を観測。[d]
- ・ 11月12日に陸地のやや西寄りから噴火が再開。24日には期間最大噴煙高400mを観測。小休止を挟みつつ12月10日まで断続的に噴火。単色型微動や空振を観測。[e][f]
- ・ 新たな陸地は11月下旬にかけて拡大するも波浪による浸食で徐々に縮小。12月31日に噴火再開。[g][h]
- ・ 11月18日に島北東部の海岸でごく小規模な噴火が発生。(③の▲)
- ・ GNSS連続観測では、島全体の隆起が継続しているが、11月下旬に一時的に沈降(④矢印)。

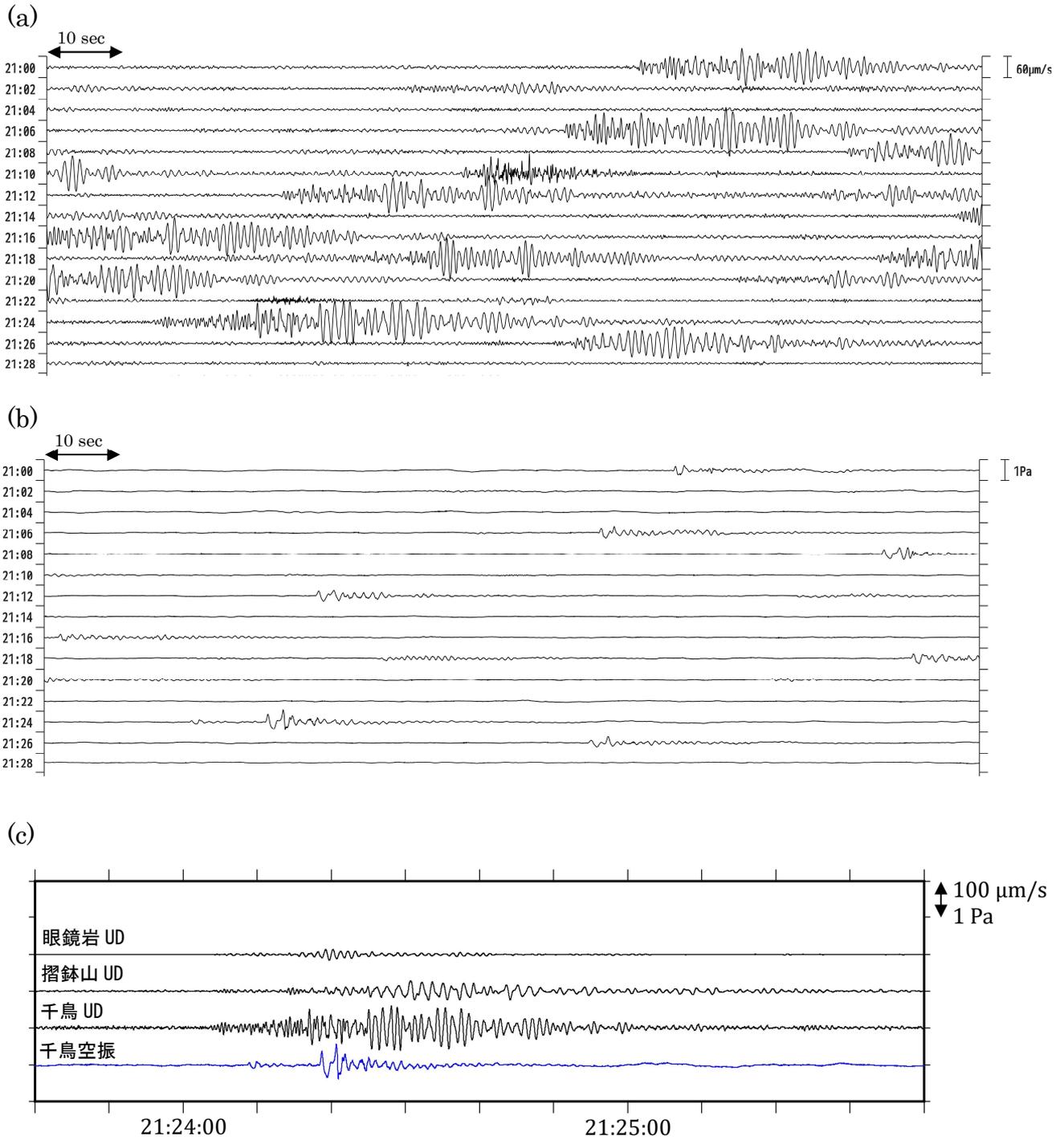


図 4-1 硫黄島 2023 年 10 月 25 日に観測された単色型微動及び空振
 a 及び b は 21 時 00 分から 21 : 29 分に千鳥観測点で観測された単色型微動及び空振波形をそれぞれ示す。c は各地震観測点及び千鳥観測点の空振計で観測された地震・空振波形を示す。
 ・ 10 月 21 日から開始した翁浜沖の噴火活動の初期には、噴火により発生した単色型微動に伴い、比較的長い周期を持つ空振波形が主に 10 月末まで観測された。このような特徴を持つ空振波形は、2022 年や 2023 年 6 月の翁浜沖の噴火活動でも観測された。

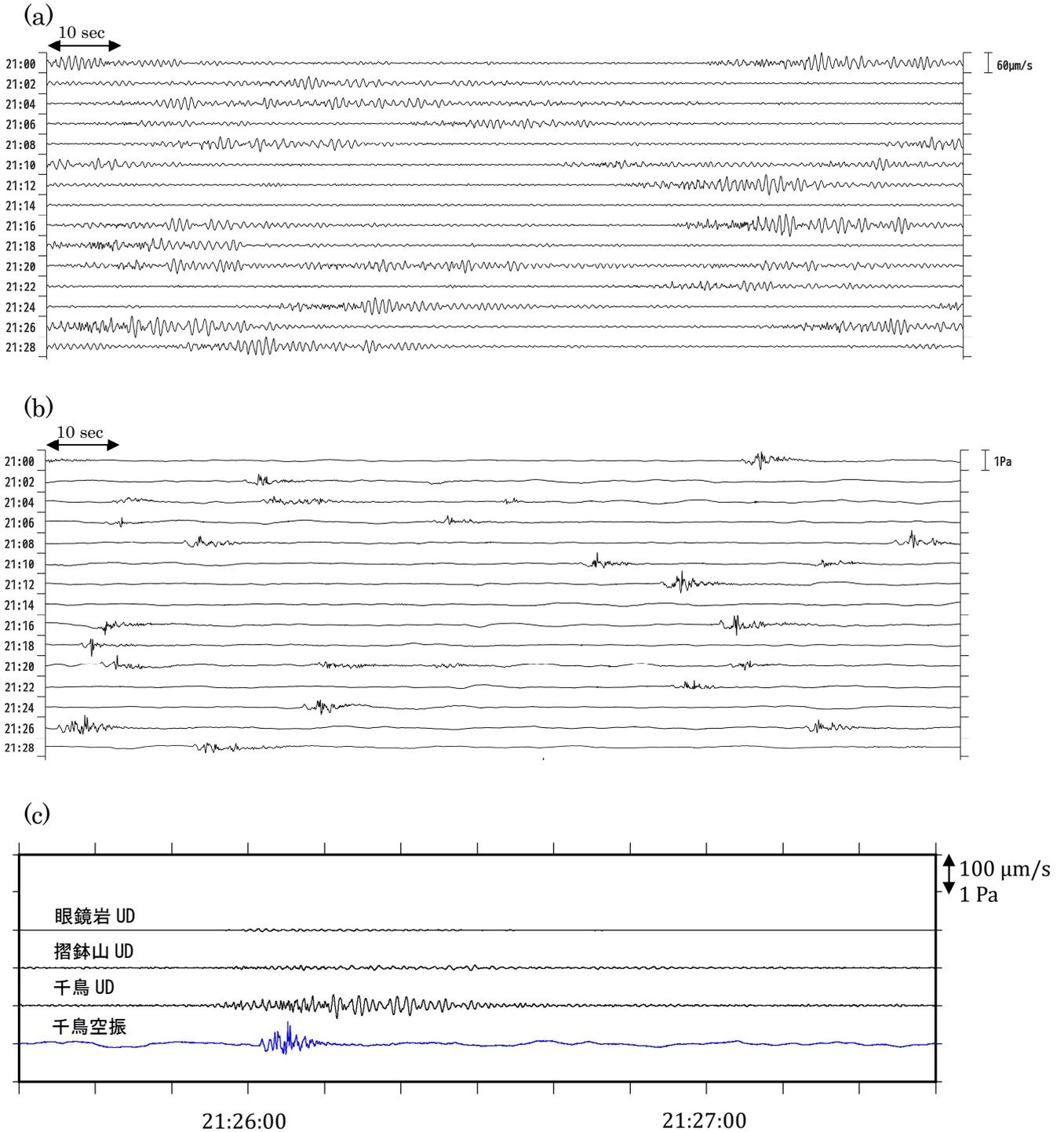


図 4-2 硫黄島 2023 年 10 月 29 日に観測された単色型微動及び空振

a、b 及び c いずれも図 4-1 と同じ内容を示す。

- ・ 10 月 30 日に東京大学地震研究所が上空から行った観測によると、翁浜沖の噴出地点のすぐ北側に新たな陸地が形成されたことを確認した。この陸地の形成期にあたる期間では単色型微動の振幅が小さくなる傾向がみられ、微動に伴う空振波形に高周波成分の重畳が主に 11 月 1 日までの期間でみられた。

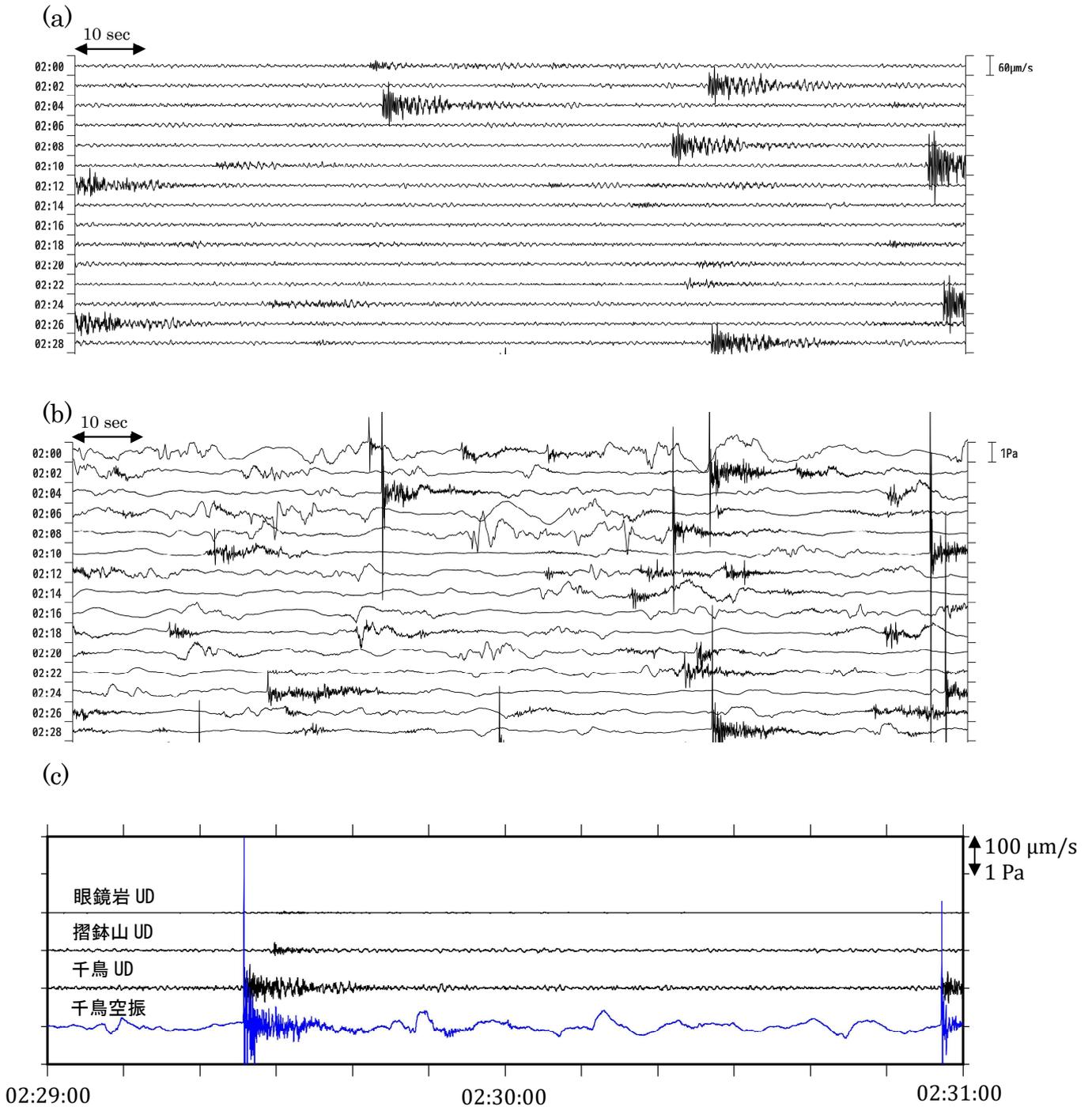


図 4-3 硫黄島 2023 年 11 月 4 日に観測された単色型微動及び空振

a、b 及び c いずれも図 4-1 と同じ内容を示す。

- ・ 11 月 4 日から 11 月 9 日にかけて、爆発音や身体で感じる空振を伴う噴火が数分間隔で発生したが、この期間、単色型微動の振幅は陸地の形成期（図 4-2）と比較してさらに小さくなった。
- ・ 一方、噴火に伴う空振の振幅が大きくなり、地震計では空振が励起したと考えられる高周波の地動を記録するようになった。
- ・ 海上保安庁が 11 月 10 日に実施した観測によると、新たな陸地に形成された火砕丘から上昇する噴気が認められた。このことから、これまで海面下で発生していた噴火が海面上の火砕丘から発生することにより、噴火に伴う空振の振幅が大きくなったとも考えられる。

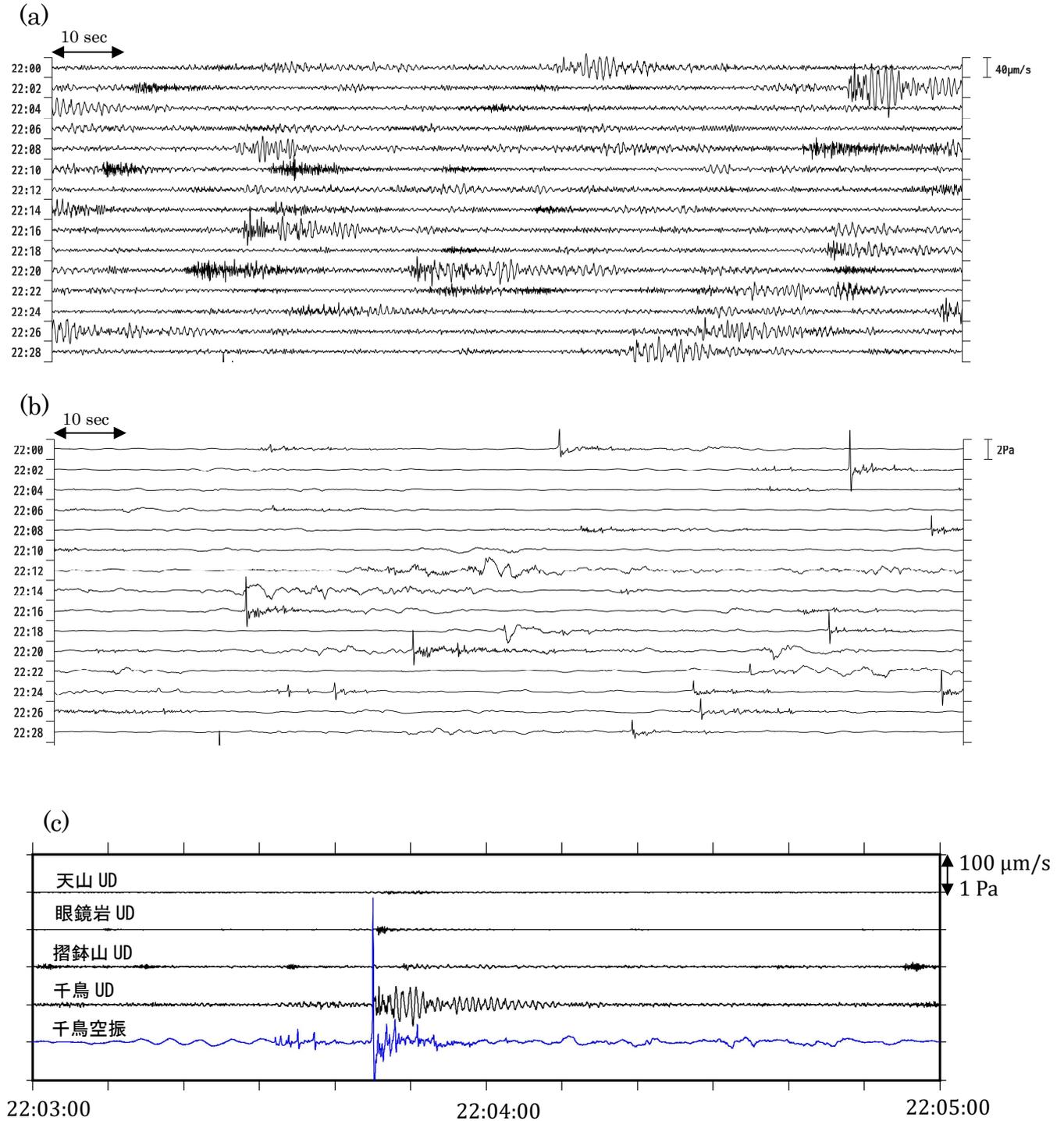


図 4-4 硫黄島 2023 年 11 月 24 日に観測された単色型微動及び空振

a、b 及び c いずれも図 4-1 と同じ内容を示す。

- ・ 11 月 9 日より噴火の発生は観測されず、単色型微動及びそれに伴う空振もの発生頻度も少なくなり、かつそれらの振幅も小さくなったが、同月 11 日より単色型微動の発生が再び目立つようになった。海上保安庁が 11 月 23 日に実施した観測では、新たな陸地は南北約 450m × 東西約 200m まで成長し、形成された火砕丘から間欠的に噴煙が高度約 200m まで上がるようなマグマ水蒸気噴火が認められた。
- ・ 地震計では単色型微動に先立ち高周波成分の震動が観測され、その震動にはパルス状の空振波形が伴った。

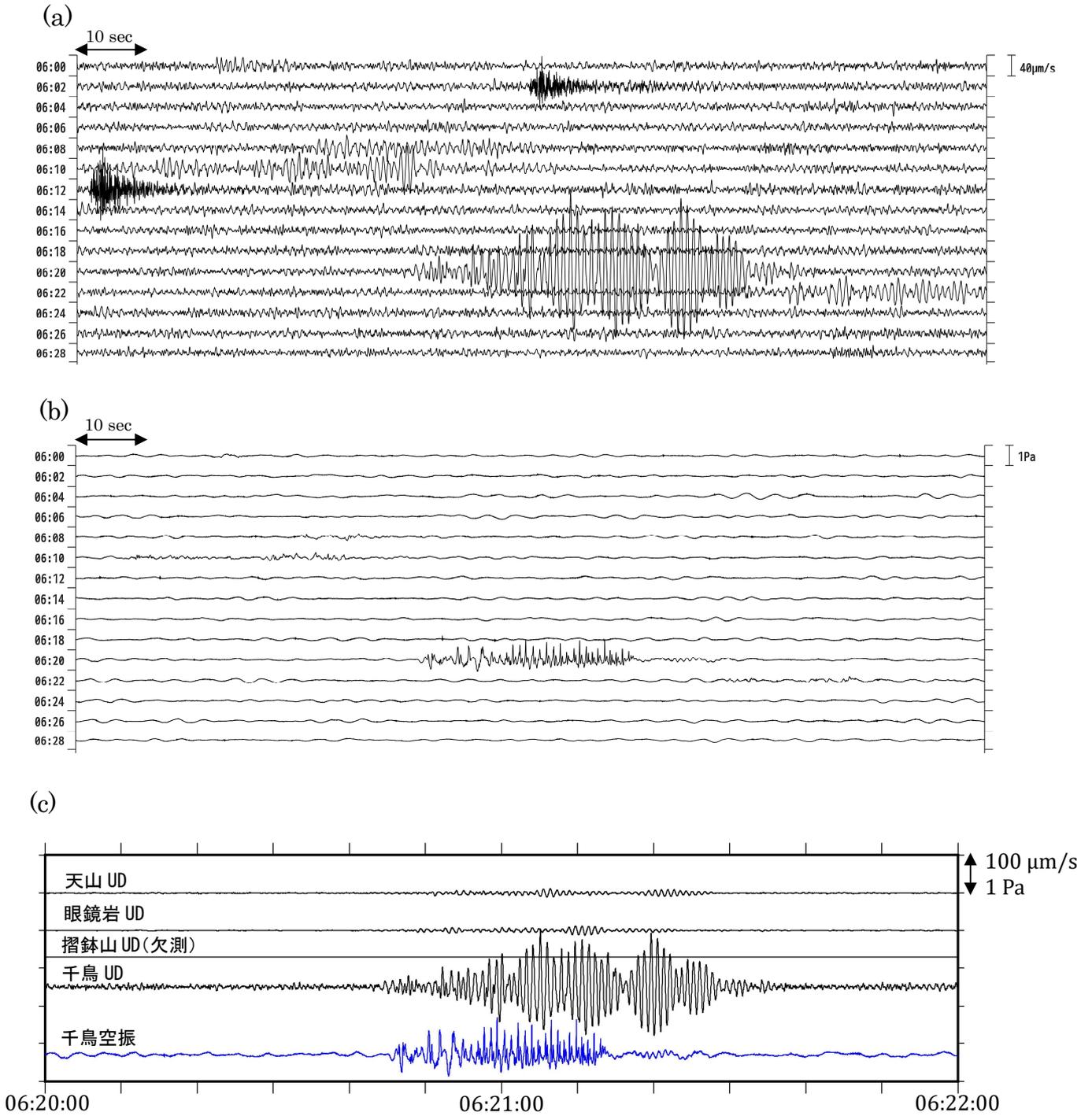


図 4-5 硫黄島 2023 年 12 月 7 日に観測された単色型微動及び空振

a、b 及び c いずれも図 4-1 と同じ内容を示す。

- ・海上保安庁が 11 月 23 日以降に実施した観測によると、翁浜沖の噴火地点に新たに形成された陸地の面積は波浪による浸食で減少していることが確認されている。
- ・新たな陸地の面積に縮小が見られる中、単色型微動の卓越周波数と同じ約 1 Hz 及びその高調波 (図 4-6) からなる空振が 11 月末から 12 月上旬にかけて観測された。

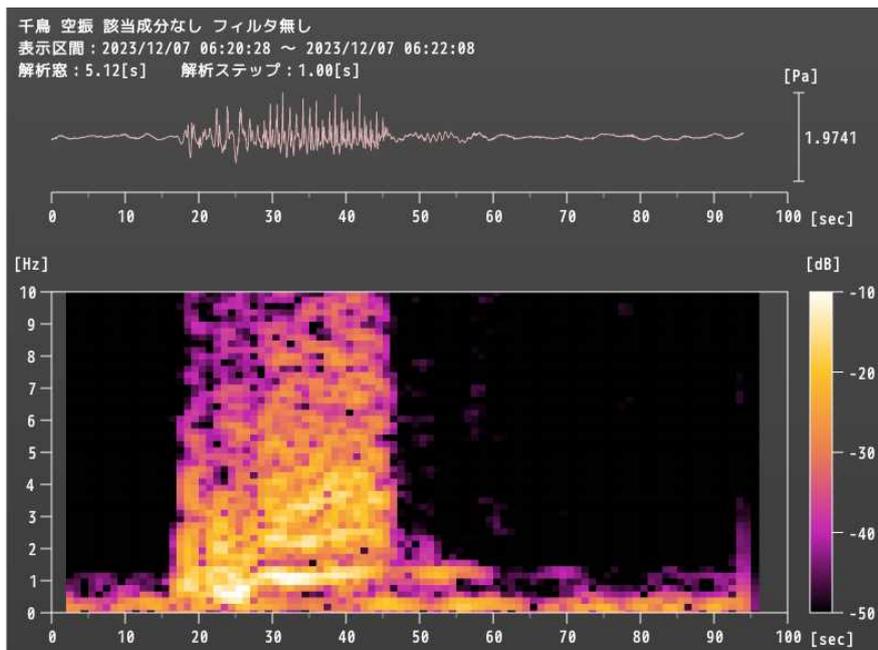


図 4-6 硫黄島 2023 年 12 月 7 日 6 時 20 分から 6 時 21 分にかけて観測された単色型微動に伴う空振のランニングスペクトル

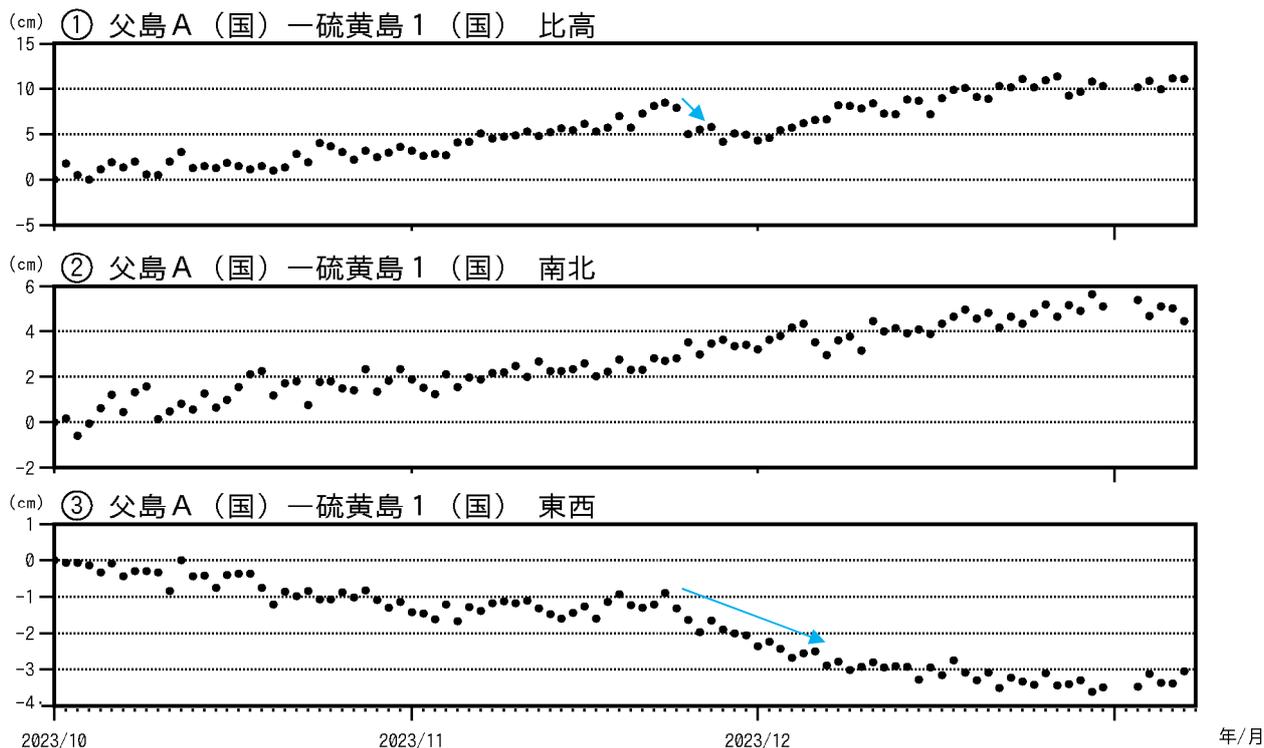
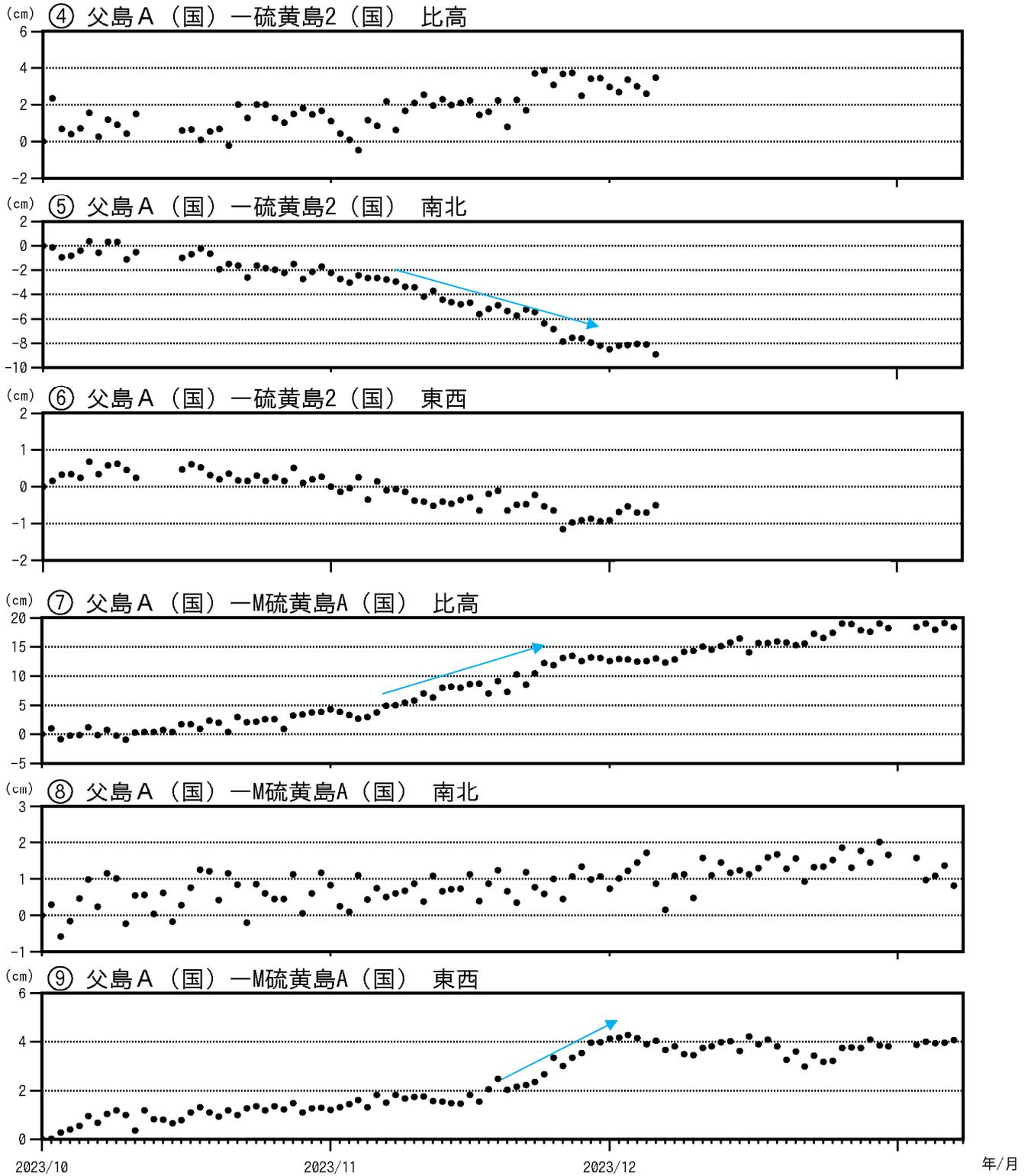
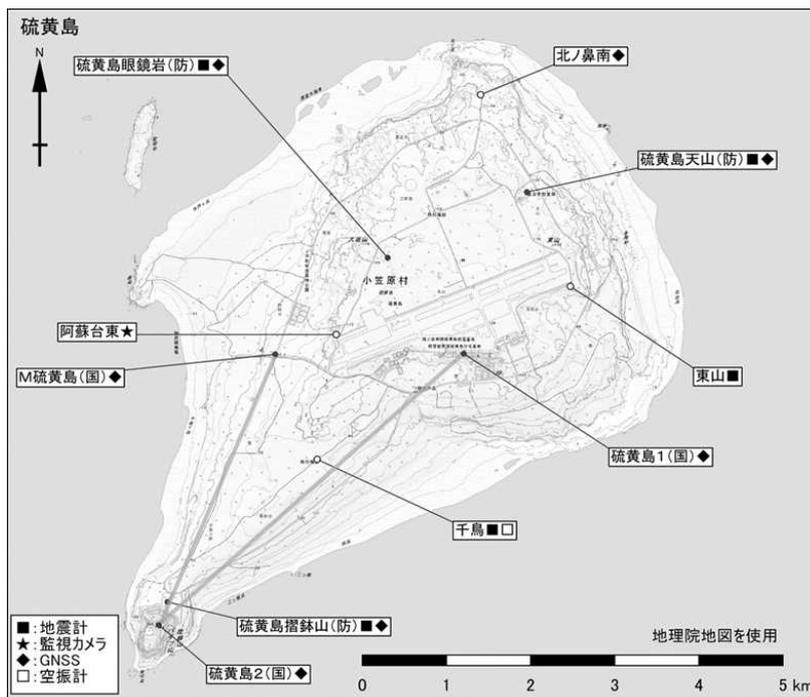
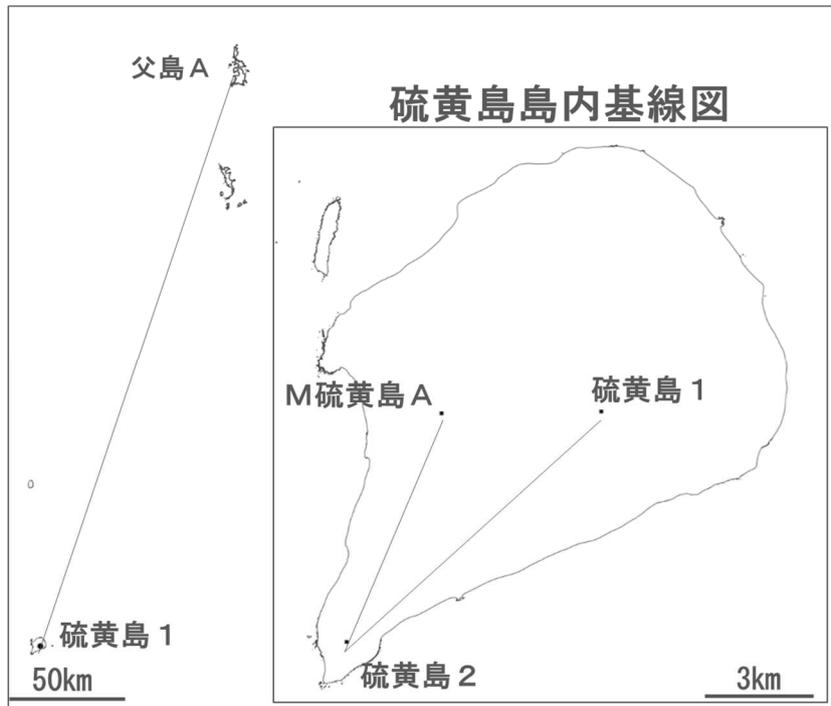


図 5 硫黄島 GNSS 観測結果 (2023 年 10 月 1 日～2024 年 1 月 7 日)

- ・硫黄島 1 (国) 観測点では、11 月下旬に一時的に沈降がみられた (①矢印)。
- ・11 月上旬から下旬にかけて、硫黄島 2 及び M 硫黄島 A 観測点でそれぞれ南向きの変動 (⑤矢印) 及び隆起の加速がみられた (⑦矢印)。
- ・11 月中旬から 12 月上旬にかけて、硫黄島 1 及び M 硫黄島 A 観測点でそれぞれ西向き (③矢印) 及び東向きの変動 (⑨矢印) の加速がみられた。



(図 5 硫黄島 続き)



小さな白丸(○)は気象庁、小さな黒丸(●)は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
 (国): 国土地理院、(防): 防災科学技術研究所

図 6 硫黄島 観測点配置図
 ・ GNSS 基線は図 1、6 の基線に対応。

ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた硫黄島の地形変化

2023 年 10 月下旬以降に出現した陸域は 12 月上旬まで確認できたが、だいち 2 号による解析では、それ以降はほとんど確認できなくなった。

1. はじめに

2023 年 10 月下旬以降に硫黄島翁浜の南沖に噴火に伴う陸域が出現した。ALOS-2/PALSAR-2 で撮影された SAR（おもに SPT）データを使い、後方散乱強度の解析をおこなった。

2. 解析結果

○強度画像解析（第 2 図）：

使用したデータは第 1 表および第 1 図に示す。10 月 30 日（第 2 図 B）の解析では、後方散乱が最も強い場所から南西方向に楕円形状に反射強度の強い領域が確認できる。11 月 8 日（第 2 図 E）以降は、反射強度の強い領域は逆 T 字型の形状に変化し、最も強い後方散乱部分は南東方向に位置している。その後、11 月 17 日（第 2 図 I）頃から北側に伸びた反射強度の強い領域が西方向に湾曲し始め、12 月 6 日（第 2 図 P）にかけて伸長した。また、西側に伸びた反射強度の強い領域も、北側ほどではないが伸長拡大し、11 月 23 日（第 2 図 M）頃から、北側へ湾曲し始めた。なお、最も強い後方散乱の場所はこの期間中、一貫して同じ場所に位置しているが、11 月 27 日（第 2 図 N）から 12 月 6 日（第 2 図 P）にかけて 2 箇所に分離したように見える。さらに、12 月 15 日（第 2 図 Q）以降は、北方向と西方向に伸長していた反射強度の強い領域は消散し、分離した強い後方散乱のうち、より南東側部分は 2 月 5 日（第 2 図 Z）現在も残存しているように見える。

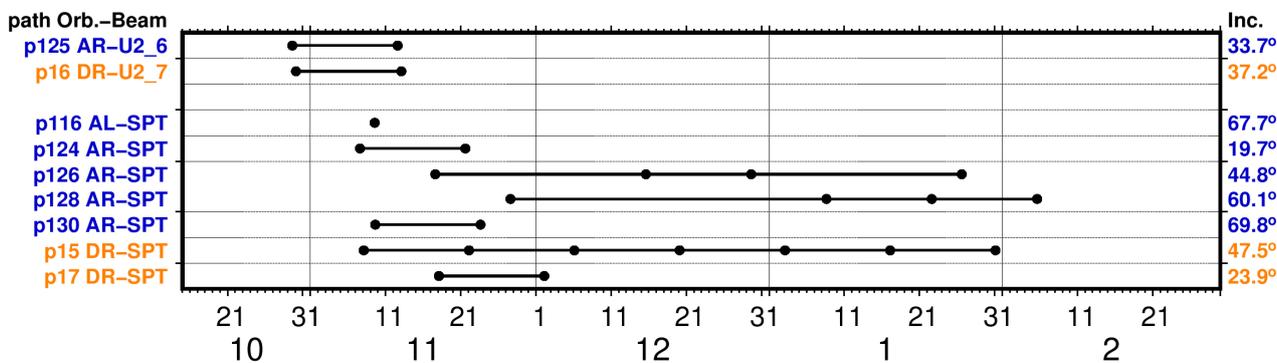
謝辞

本解析で用いた PALSAR-2 データは、火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験（衛星解析グループ）に基づいて、宇宙航空研究開発機構（JAXA）にて観測・提供されたものである。PALSAR-2 に関する原初データの所有権は JAXA にある。PALSAR-2 の解析ソフトウェアは、防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発された RINC を使用した。また、処理の過程や結果の描画においては、国土地理院の数値地図 10m メッシュ（標高）を元にした楕円体標高モデル（DEHM）を使用した。

第 1 表 解析に使用したデータ

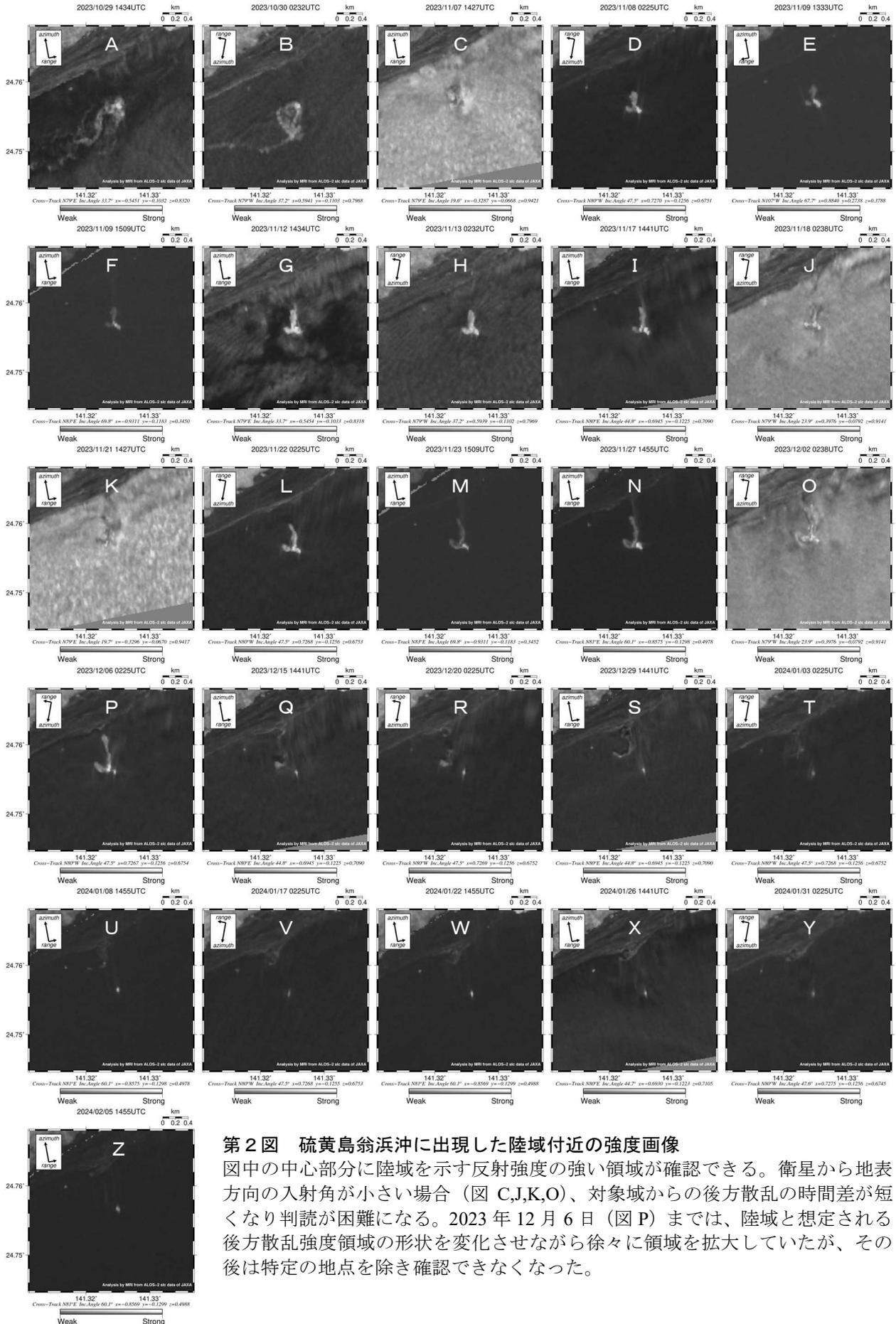
Path-Frame	Beam mode	Orbit	Looking	Inc. angle	Obs. date	Figure No.
125-480	U2_6	北行	右側	33.7°	2023.10.29	第 2 図-A
16-3120	U2_7	南行	右側	37.2°	2023.10.30	第 2 図-B
124-490	SPT	北行	右側	19.7°	2023.11.07	第 2 図-C
15-3123	SPT	南行	右側	47.5°	2023.11.08	第 2 図-D
116-551	SPT	北行	左側	67.7°	2023.11.09	第 2 図-E
130-459	SPT	北行	右側	69.8°	2023.11.09	第 2 図-F
125-480	U2_6	北行	右側	33.7°	2023.11.12	第 2 図-G

16-3120	U2_7	南行	右側	37.2°	2023.11.13	第 2 図-H
126-478	SPT	北行	右側	44.8°	2023.11.17	第 2 図-I
17-3112	SPT	南行	右側	23.9°	2023.11.18	第 2 図-J
124-490	SPT	北行	右側	19.7°	2023.11.21	第 2 図-K
15-3123	SPT	南行	右側	47.5°	2023.11.22	第 2 図-L
130-459	SPT	北行	右側	69.8°	2023.11.23	第 2 図-M
128-468	SPT	北行	右側	60.1°	2023.11.27	第 2 図-N
17-3112	SPT	南行	右側	23.9°	2023.12.02	第 2 図-O
15-3123	SPT	南行	右側	47.5°	2023.12.06	第 2 図-P
126-478	SPT	北行	右側	44.8°	2023.12.15	第 2 図-Q
15-3123	SPT	南行	右側	47.5°	2023.12.20	第 2 図-R
126-478	SPT	北行	右側	44.8°	2023.12.29	第 2 図-S
15-3123	SPT	南行	右側	47.5°	2024.01.03	第 2 図-T
128-468	SPT	北行	右側	60.1°	2024.01.08	第 2 図-U
15-3123	SPT	南行	右側	47.5°	2024.01.17	第 2 図-V
128-468	SPT	北行	右側	60.1°	2024.01.22	第 2 図-W
126-478	SPT	北行	右側	44.7°	2024.01.26	第 2 図-X
15-3123	SPT	南行	右側	47.6°	2024.01.31	第 2 図-Y
128-468	SPT	北行	右側	60.1°	2024.02.05	第 2 図-Z



第 1 図 解析に使用したデータ

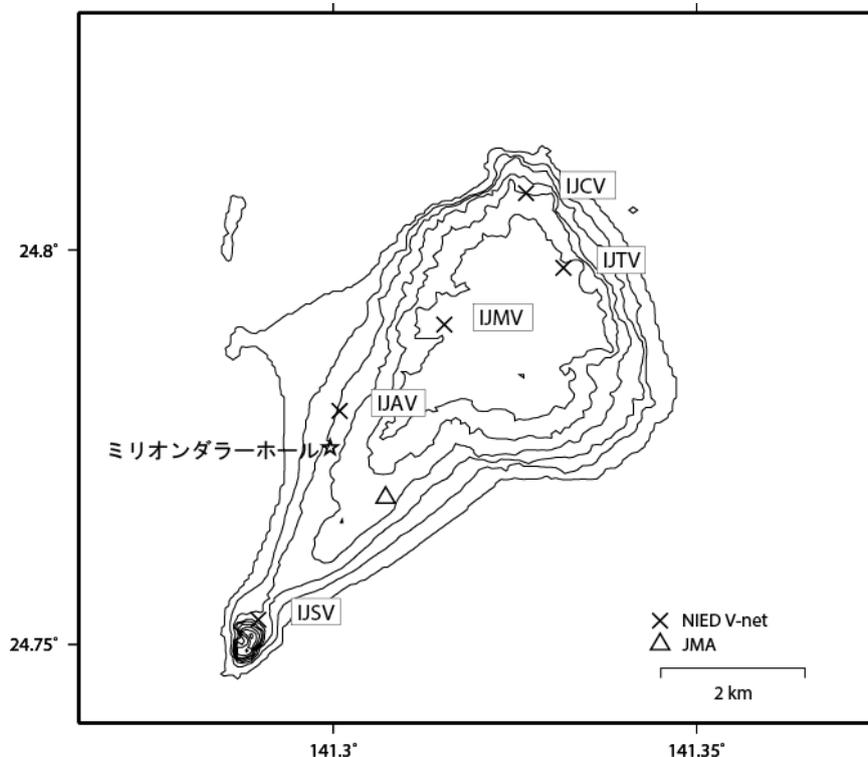
左側欄外に、観測パスと軌道と観測方向、電波モード、右側欄外に入射角を記す。直近はほとんど SPT モードでの観測が主体である。



第 2 図 硫黄島翁浜沖に出現した陸域付近の強度画像

図中の中心部分に陸域を示す反射強度の強い領域が確認できる。衛星から地表方向の入射角が小さい場合 (図 C,J,K,O)、対象域からの後方散乱の時間差が短くなり判読が困難になる。2023 年 12 月 6 日 (図 P) までは、陸域と想定される後方散乱強度領域の形状を変化させながら徐々に領域を拡大していたが、その後は特定の地点を除き確認できなくなった。

硫黄島の火山活動について



この地図の作成にあたっては、国土地理院発行の
数値地図 50mメッシュ（標高）を使用した。

IJMV=地震計（短周期）、GNSS

IJTV=地震計（短周期）、GNSS

IJSV=地震計（短周期・広帯域）、GNSS

資料概要

○地震活動と地殻変動について

硫黄島では、活発な地震活動が続いている（図1）。硫黄島の元山（東側）では、年間 50cm ~100cm 程度の急激な隆起が進行中である（図2-5）。翁浜沖の噴火の発生後も顕著な変化は無く、これまでの活動と比べて大きな変化はない。

硫黄島の地震活動 (2023/6/1~2023/12/15)

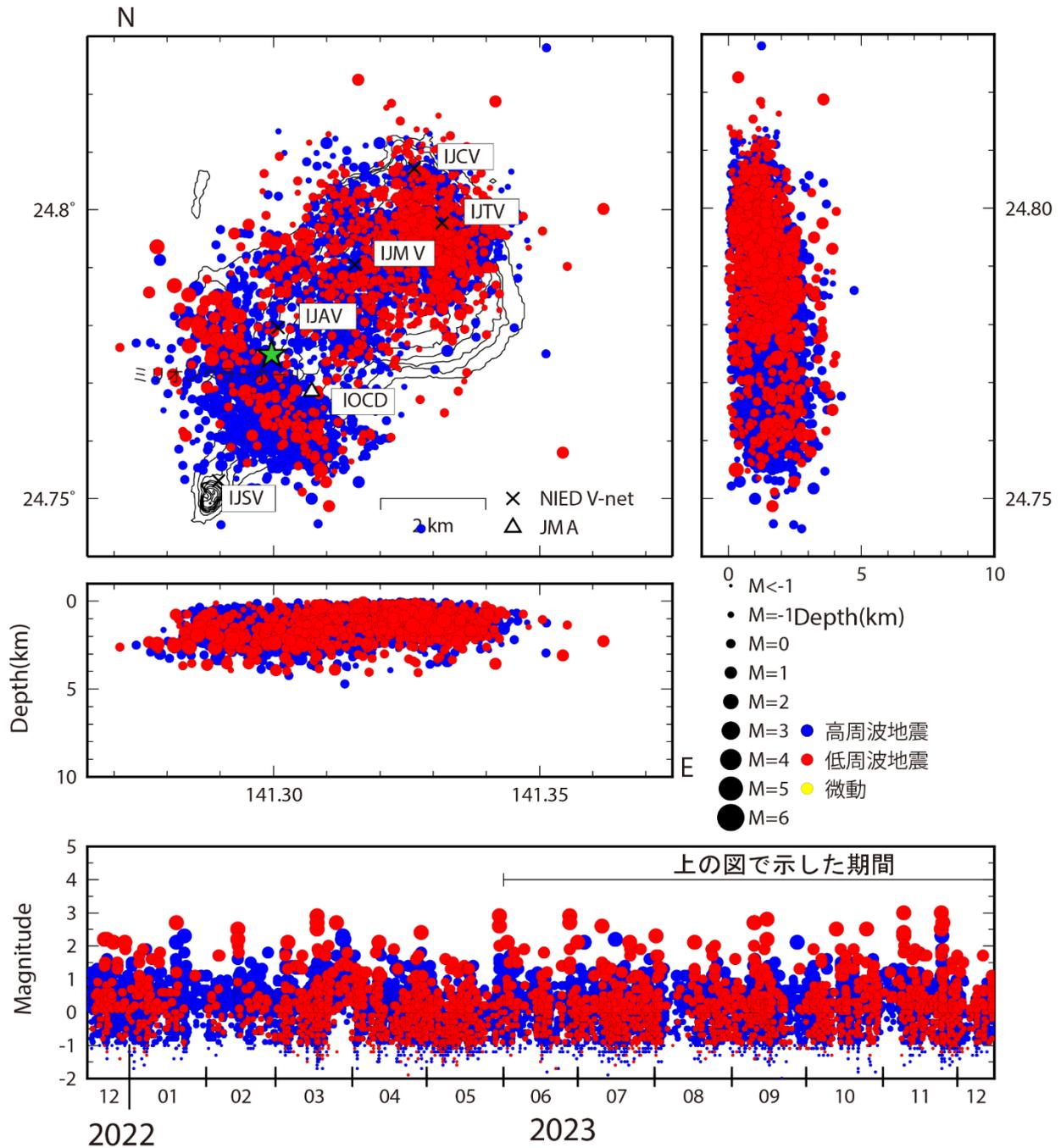


図1 硫黄島の地震活動 (2023/6/1~2023/12/15)

地震数は連続記録からカウントした。

震源決定には、気象庁の観測点 (位置は図中) も使用した。

地図の作成にあたっては、国土地理院発行の数値地図 50mメッシュ (標高) を使用した。

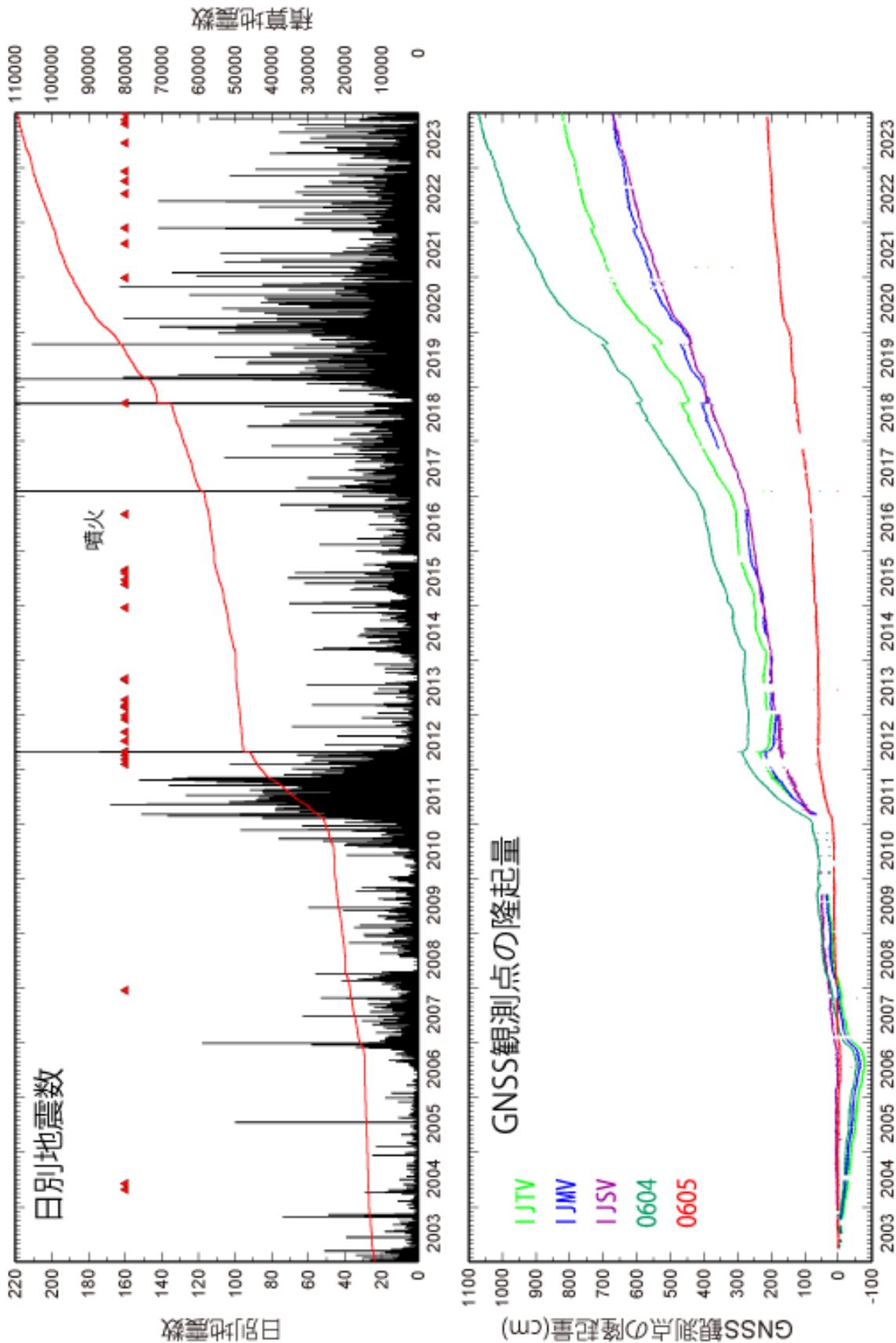
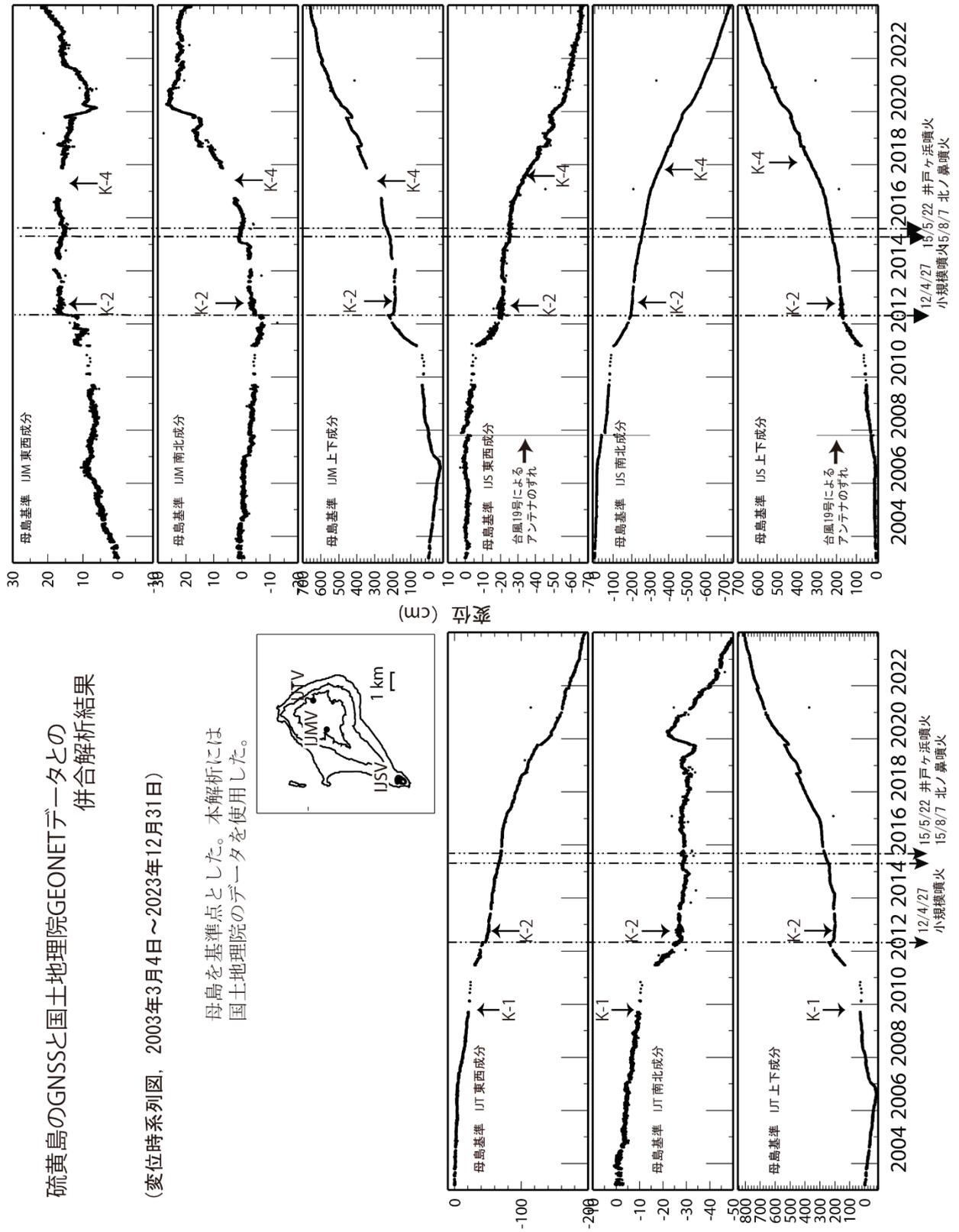


図2 硫黄島日別地震回数と隆起活動 (2003/01/01~2023/12/15)

硫黄島の日別地震数と島内の GNSS 観測点の隆起量の比較。0604 と 0605 は国土地理院 GEONET 観測点。基準点は国土地理院の母島観測点。本解析には国土地理院のデータを使用した。



硫黄島のGNSSと国土地理院GEONETデータとの
併合解析結果

(変位時系列図, 2003年3月4日~2023年12月31日)

母島を基準点とした。本解析には
国土地理院のデータを使用した。

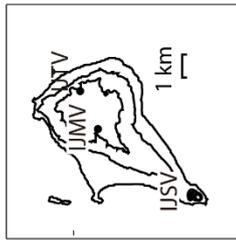


図 3 硫黄島の GNSS と国土地理院 GEONET データとの解析結果

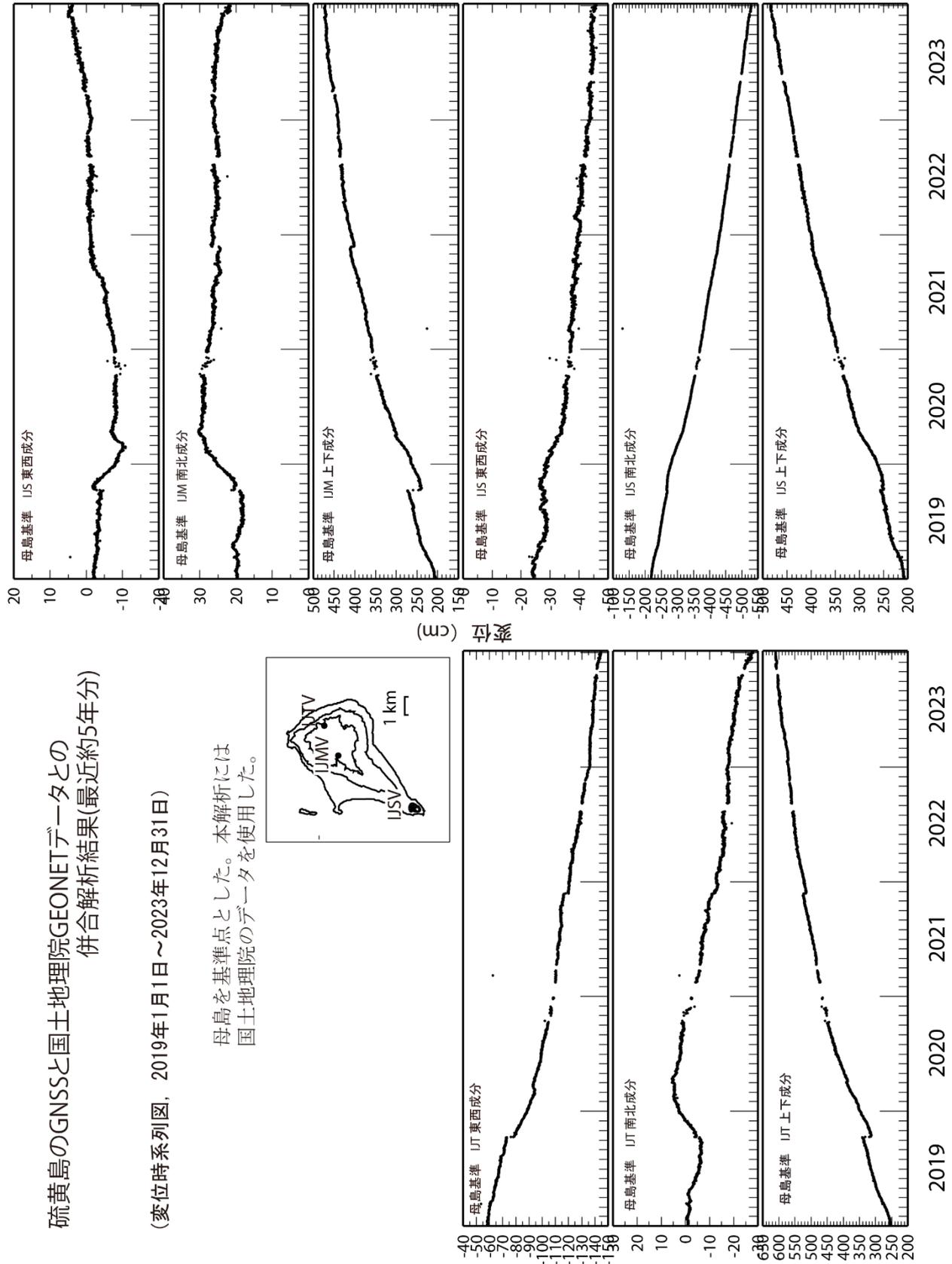


図 4 硫黄島の GNSS と国土地理院 GEONET データとの解析結果 (2019 年以降)

表1 GNSS観測履歴

0280	天山 (IJTV)		2003/3/4	1周波観測開始
		K-1	2010/12/14~2011/6/16	バッテリー劣化の為、欠測
			2013/1/30	2周波機器更新
		K-2	2013/2/20	2周波観測開始
		K-3	2015/10/14~2015/12/8	欠測
	K-5	2017/11/14~2017/12/5	欠測	
0281	眼鏡岩 (IJMV)		2004/11/1	1周波観測開始
			2007/10/21	アンテナずれる
			2007/11/26	アンテナ再設置
			2013/8/12~2013/9/26	欠測
			2013/1/30	2周波機器更新
		K-2	2013/2/20	2周波観測開始
			2014/1/21~2014/6/17	通信障害の為、欠測
		K-4	2016/9/29~2017/11/14	機器故障のため欠測
	K-6	2018/7/20~	テレメータ故障のため欠測	
0440	摺鉢山 (IJSV)		2003/3/4	1周波観測開始
			2013/1/30	2周波機器更新
		K-2	2013/2/20	2周波観測開始

小笠原硫黄島 2023 年翁浜沖噴火噴出物の化学組成

概要

7月11日から8月9日頃まで続いた硫黄島翁浜沖の噴火のマグマ組成の時間変化を把握するため、全岩化学組成と火山ガラスの化学組成を測定した。その結果、全岩化学組成は $\text{SiO}_2=61.2\sim 61.3$ wt% の範囲に集中し 2022 年噴出物とよく似ている。一方、石基火山ガラスの化学組成は $\text{SiO}_2=61.8\sim 63.2$ wt% の範囲にあり、2022 年噴出物の場合よりも SiO_2 に乏しく全岩組成に近い。2023 年噴火のマグマは 2022 年噴火とほぼ同質の粗面岩質マグマであるが、結晶化の程度がより小さいと考えられる。

分析試料

今回全岩化学組成を測定した試料は、防災科研が 2023 年 11 月 17 日、21 日にニッ根浜周辺で採取した火山弾状の岩塊と淡褐色軽石礫の計 5 試料である。試料はすべて海岸に漂着したものであり噴出日時は不明であるが、漂着状況からみて採取日に近いと考えられる。試料には斑晶や微晶の鉱物として斜長石、単斜輝石、カンラン石、燐灰石、Fe-Ti 酸化物、Fe 硫化鉱物が含まれている。概して 2022 年噴出物よりも微晶の量が少ない傾向がある (図 1)。全岩化学組成については東大地震研設置の XRF (RIGAKU ZSX Primus II) を使用し外西ほか(2015)の方法で測定した。石基火山ガラス化学組成については、火山弾状岩塊と軽石礫から各 1 点計 2 試料の急冷縁付近の鏡面研磨薄片を作成して防災科研設置の SEM-EDS (JEOL JSM-IT500 & OXFORD Ultim MAX65) で主成分を測定した。加速電圧は 15kV、照射電流は 0.5nA、測定範囲は、約 $5\mu\text{m}$ 角、測定時間は 40s である。

分析結果

全岩化学組成は試料の色調・組織の見かけの違いによらずほぼ一定で、 $\text{SiO}_2=61.2\sim 61.3$ wt%、Total Alkali($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)= $10.6\sim 10.8$ wt% の範囲によく集中しており、Le Bas et al.(1986) の区分では粗面岩に分類される(表 1、図 2)。2022 年 7 月~10 月に翁浜沖で噴出した試料とほぼ同質である(表 1、図 2)。

火山ガラスの分析結果は $\text{SiO}_2=61.8\sim 63.2$ wt%、Total Alkali= $10.9\sim 11.6$ wt% で、翁浜沖で 2022 年 7 月~10 月に噴出した試料と比べて SiO_2 量が減少し全岩組成に近づいたようにみえる (図 2)。全岩化学組成がほぼ同じであり、また晶出している鉱物種では全岩化学組成よりも SiO_2 量が少ないことを考慮すると、このことは岩石全体の結晶度の低下を表していると考えられる。

結晶度の低下の原因としては、マグマ噴出時における温度の上昇や揮発性成分量の増加などの変化が挙げられる。今後この点の解明を目指した分析を行う予定である。

以上は現時点での結果であり、今後の精査により修正されることがある。

謝辞 海上自衛隊硫黄島航空基地隊気象班には現地調査に御協力いただいた。日本大学文理学部地球科学科の金丸龍夫氏には全岩分析用ガラスビード作製作業に御協力いただいた。以上の方々に記して御礼申し上げます。

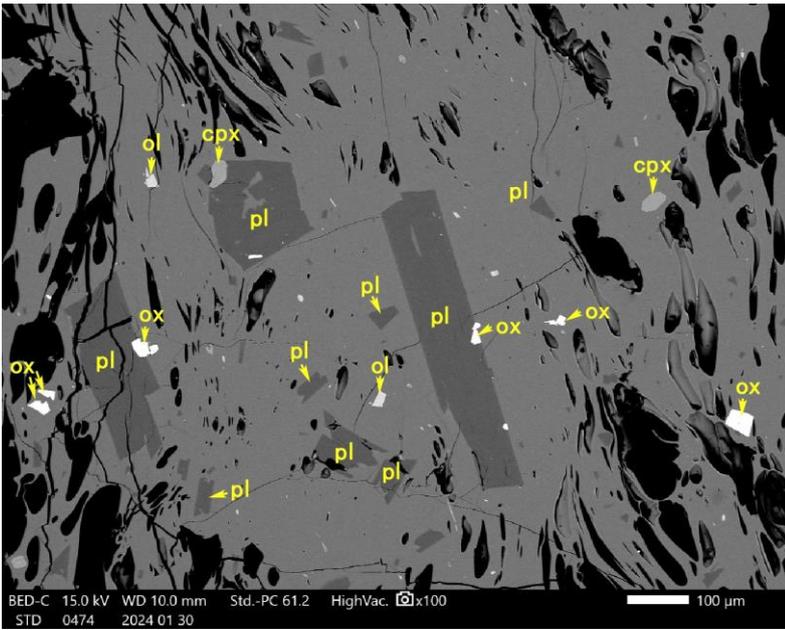


図 1 2023 年翁浜沖噴火噴出物の
反射電子組成像

11 月 21 日採取の淡褐色軽石礫
(IWO23112101b) の急冷縁部分。
pl : 斜長石、cpx : 単斜輝石、ol :
カンラン石、ox : Fe-Ti 酸化物。

表 1 2023 年翁浜沖噴火噴出物の全岩化学組成

全鉄を tFeO とし、主成分について合計 100%に規格化した。

試料の形態	採取日	試料名	(wt%) SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	tFeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	total
火山弾状岩塊	11月17日	IWO23111701a	61.22	0.83	16.36	6.10	0.24	1.31	2.69	6.43	4.41	0.41	100.00
火山弾状岩塊	11月17日	IWO23111701b	61.24	0.81	16.46	5.96	0.24	1.29	2.80	6.42	4.37	0.41	100.00
淡褐色軽石礫	11月21日	IWO23112101a	61.33	0.81	16.36	5.98	0.23	1.32	2.75	6.37	4.41	0.42	100.00
淡褐色軽石礫	11月21日	IWO23112101b	61.24	0.82	16.37	6.07	0.24	1.37	2.81	6.32	4.33	0.42	100.00
火山弾状岩塊	11月21日	IWO23112102a	61.22	0.81	16.44	6.04	0.23	1.36	2.87	6.31	4.29	0.42	100.00

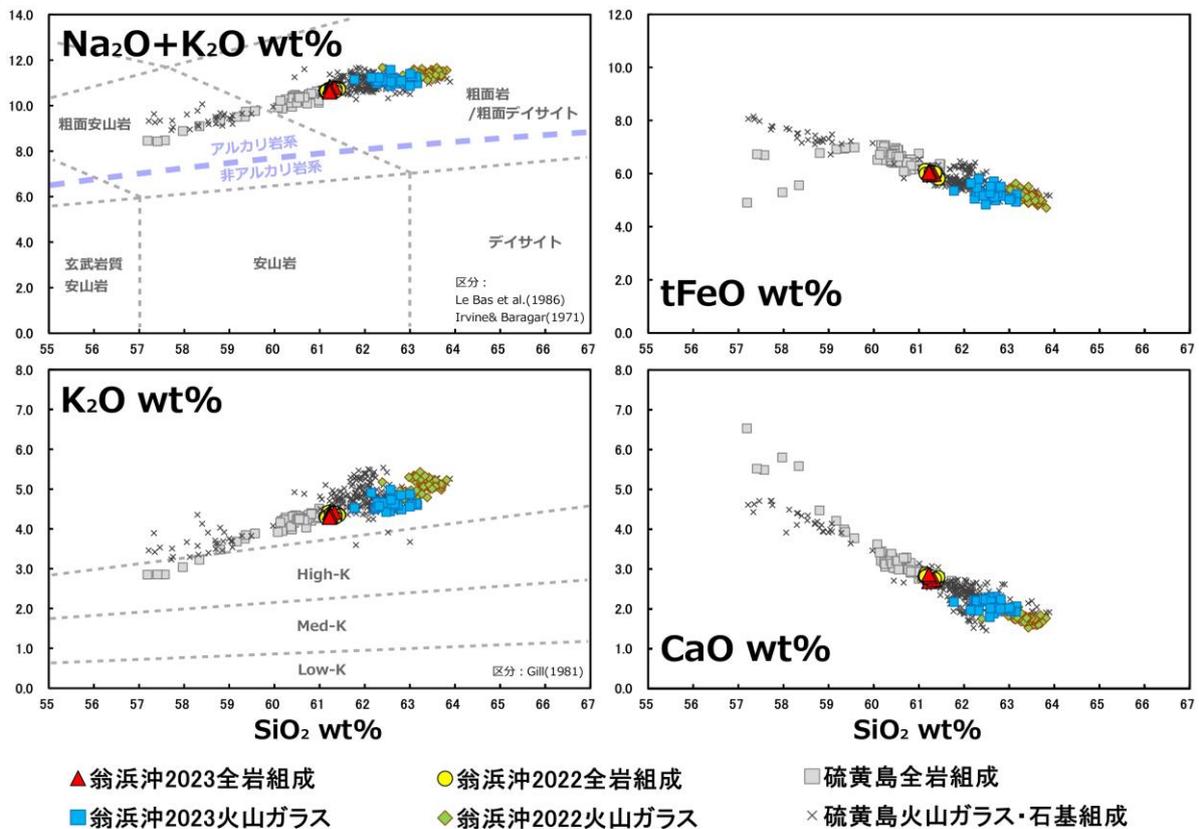


図 2 翁浜沖噴火噴出物の全岩化学組成・火山ガラス化学組成 : SiO₂組成変化図

小笠原硫黄島火山ガスのヘリウム同位体比と $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比

1. 概要

2023年11月18日から21日にかけて小笠原硫黄島の7地点で火山ガスを採取し、ヘリウム同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比) を測定した。またガス検知管を用いて $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比を観測した。過去の観測結果と比較すると、いくつかの地点で2022年7月以来のマグマ噴火に対応するとみられる $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の上昇が観測された。 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比については過去の観測値から特段の変動はなかった。

2. はじめに

ヘリウム (He) などの希ガスは、化学的に不活性であり化学反応に関与しないため、その同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比) は地下深部からの移動過程で変動しにくく、起源の異なる複数の供給源からの寄与率の違いを反映する。 ^3He は地球形成時から存在する始原的成分がほとんどを占めている一方、 ^4He では始原的成分に加えて、U や Th の放射壊変によって生成された成分 (放射壊変起源成分) も多く存在している。この始原的成分と放射壊変起源成分の寄与率の違いを反映して、大気、マントル、地殻の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は大きく異なる。大気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の絶対値 ($R_A = 1.4 \times 10^{-6}$) を基準とすると、マントルの値は $8 R_A$ 程度であり相対的に始原的成分に富んでいる一方で、地殻の値は $0.02 R_A$ 以下であり、放射壊変起源成分が卓越している。このことを利用してマグマ活動度が評価できると期待される^[1]。

また、火山ガスの $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は、 CO_2 が主にマグマ起源、 H_2S が主に浅部熱水系に由来する成分であるため、火山ガスへのマグマ起源成分の供給量の増減のよい指標となる。ただし H_2S と SO_2 の反応により固体の硫黄が析出したり、水と反応して硫黄成分が取り去られたりすることで変動する場合もある。

3. 試料採取地点・分析法

図1に示した7地点において、真空コック付きのガラス製容器に噴気あるいは温泉遊離ガス (バブル) を採取し、希ガス質量分析計^[2,3]を用いて $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比と、ヘリウムとネオン濃度の比 ($^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比) を測定した。試料中のヘリウムには、地下でのガスの移動中、あるいは試料採取時に混入した大気由来のヘリウムが含まれている。このような大気起源ヘリウムの混入による $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の改変は、 $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比を用いて補正できる。これ以降、本報告で示す $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比はすべて、大気起源ヘリウムの混入を補正している。

また、冷却して凝縮水を除去した噴気をテドラーバッグに入れ、適宜大気で希釈した後にガス検知管で CO_2 濃度と H_2S 濃度を測定することで $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比を得た。さらに硫黄ヶ丘と北ノ鼻では、高濃度のアルカリ性水溶液 (KOH) 20 mL を入れ真空にしたガラス瓶に噴気を採取して持ち帰り、化学分析を行った。噴気の化学分析は気象研にて、主に小沢の方法^[4]に従って行った。

4. 結果・考察

図1に各地点における、大気混入を補正した $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比 (Air-corrected $^3\text{He}/^4\text{He}$) を示す。全ての試料において $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比はマントルの値 (約 $8 R_A$) よりも有意に低く、地殻起源ヘリウムがマグマそのものか、マグマから分離して地表まで上昇する火山ガスに混入していることを示している。また地点間

で比較すると、元山中央部の硫黄ヶ丘で最も $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が 6.0 RA と高く、次いで元山の東崖にあたる大湯谷が 5.9 RA であり、その他の海岸に存在する噴気や温泉ガスは 5.6~5.8 RA となっている。

図 2 は、過去の文献値^{5,6)}と、2017 年 8 月及び 2022 年 11 月に、それぞれ気象研と防災科研によって採取された試料の分析値を用いて、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の経時変化を示したものである。全ての時期について同じ地点（噴気地帯あるいは火口、温泉）で試料を採取できていないため、元山（硫黄ヶ丘、大湯谷）、東海岸（離岩南、金剛岩、千鳥温泉跡、箱庭浜、北ノ鼻）、西海岸（沈船海岸、阿蘇台陥没孔、井戸ヶ浜、井戸ヶ浜東、漂流木火口）でエリアを区分して示している。

1983 年と 1997~2001 年を比較すると、元山（硫黄ヶ丘）でも東海岸（金剛岩）でも、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は上昇していたようである。1997~2001 年の期間では、東海岸で元山及び西海岸よりわずかに高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が観測されており、それ以前に東海岸（1993 年：箱庭浜沖、1994 年：離岩）で水蒸気噴火が起こっていたことと対応して、マグマ起源ヘリウムの寄与が他のエリアよりも高かったことを示唆しているかもしれない。1997~2001 年から 2017 年にかけては、元山と東海岸では $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比はほとんど変化しなかった一方で、西海岸ではわずかに上昇し、東海岸と同程度の値になっている。この間には西海岸で小規模な水蒸気噴火（2004 年：阿蘇台陥没孔、2012 年・2013 年：ミリオンダラーホール、2015 年・2016 年：井戸ヶ浜）が発生しており、それに対応してマグマ起源ヘリウムの寄与も上昇していた可能性がある。

2022 年 7 月から現在までは断続的に翁浜南の海中（図 1 の星印）で断続的にマグマ噴火が発生しているが、硫黄ヶ丘ではそれまでの観測値（2001 年~2017 年は 5.6~5.6 RA）より顕著に高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比（6.0 RA）が、マグマ噴火の活動開始直後の 2022 年 11 月に観測されている。2017 年から 2022 年にかけては西海岸（2020 年：阿蘇台陥没孔、2021 年：漂流木海岸）と東海岸（2019 年：馬背岩南）で水蒸気噴火が発生しているが、これらに対応する $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の変動はいずれのエリアでも起こっておらず、硫黄ヶ丘における $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の上昇は、マグマ噴火に対応してマグマ起源ヘリウムの寄与率が従来よりも大きく増えたことを反映していると考えられる。この高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は 2023 年 11 月においても継続して観測されており、2024 年 1 月現在でも噴火活動が断続的ながら継続していることと調和的である。また硫黄ヶ丘と比較的近い大湯谷（2001 年：5.6 RA→2023 年 11 月：5.9 RA）と離岩南（2022 年 11 月：5.6 RA→5.8 RA）でも $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の上昇が見られていることは、マグマ噴火に伴い増加したマグマ起源ヘリウムの供給量の増加の影響が、これらの地点にも及びつつあるのかもしれない。

このように近年のマグマ噴火に伴い、マグマ起源ヘリウムの供給量がとくに島の中央部である元山の中心部の直下で増加している可能性があり、噴火活動がどのように今後推移していくかの指標として、今後も火山ガスのヘリウム同位体比を継続して観測していく必要があると考えられる。

$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の観測結果を図 3 に示す。地表付近に硫黄の析出が顕著に見られる沈船海岸や北ノ鼻で比較的低い値が見られた一方で、硫黄がほとんど見られない井戸ヶ浜東や離岩南では高い値が観測されている。これは火山ガスが地表に到る前に、地下で水との反応により硫黄成分が取り去られているためと考えられる。2017 年に同じ方法で観測した北ノ鼻と阿蘇台陥没孔の $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比はそれぞれ 17.1 と 36.7 であり、今回の観測値（15.4 と 42.6）はそれらからほとんど変化していない。硫黄ヶ丘の $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は 40 前後であり、箱根山や草津白根山など他の火山の噴気と比べると高いが、これは H_2S 濃度が低いことに起因しており、やはり地下での水（おそらく海水）との反応により硫黄成分が失われたためと考えられる。しかし 1968 年から 1982 年にかけて、火山活動の活発化と対応して H_2S 濃度が上昇し、 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の低下が観測されている⁷⁾ことから、現場で容易に測定できる $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の観測は、今後

も継続するべきと考えられる。

[参考文献]

- [1] Padrón, E., Pérez, N.M., Hernández, P.A., Sumino, H., Melián, G.V., Barrancos, J., Nolasco, D., Padilla, G., Dionis, S., Rodríguez, F., Hernández, I., Calvo, D., Peraza, M.D., Nagao, K., 2013. Diffusive helium emissions as a precursory sign of volcanic unrest. *Geology* 41, 539-542.
- [2] Sumino, H., Nagao, K., Notsu, K., 2001. Highly sensitive and precise measurement of helium isotopes using a mass spectrometer with double collector system, *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.* 49, 61-68.
- [3] 角野浩史, 2015. 希ガス同位体質量分析の温故知新. *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.* 63, 1-30.
- [4] 小沢竹二郎, 1968. 地球化学におけるガス分析法 (I) . *分析化学*, 17, 395-405.
- [5] Marty B, Jambon A, Sano Y, 1989. Helium isotopes and CO₂ in volcanic gases of Japan. *Chem. Geol.* 76, 25-40.
- [6] Sumino, H., Notsu, K., Nakai, S., Sato, M., Nagao, K., Hosoe, M., Wakita, H., 2004. Noble gas and carbon isotopes of fumarolic gas from Iwojima volcano, Izu-Ogasawara arc, Japan: implications for the origin of unusual arc magmatism. *Chem. Geol.* 209, 153-173.
- [7] 小坂丈予, 小沢竹二郎, 松尾禎士, 平林順一, 大隅多加志, 1985. 硫黄島における地球化学的研究. *地学雑誌*. 94, 551-563.

[謝辞]

海上自衛隊硫黄島航空基地隊気象班には現地調査に御協力いただいた。記して御礼申し上げます。

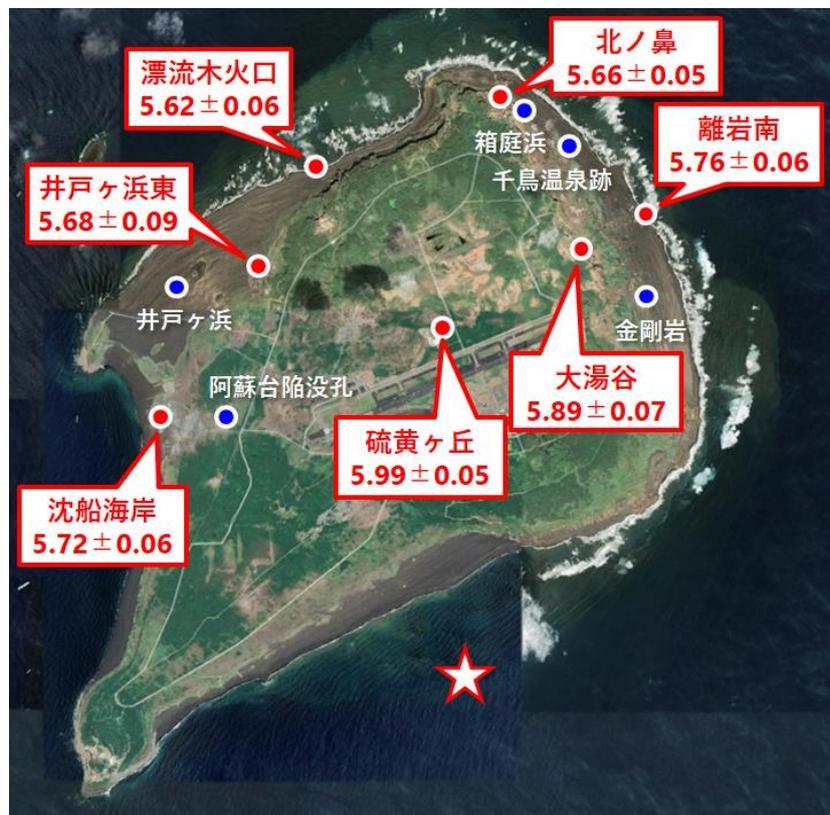


図 1. 2023 年 11 月の調査における硫黄島の火山ガス(噴気、温泉遊離ガス)の採取地点(赤丸)と $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比(大気起源ヘリウムの混入の効果は補正済み)。青丸は過去の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の測定値がある地点を示す。星印は 2022 年 7 月から現在までのマグマ噴火の発生地点。背景画像として Google Earth を使用した。

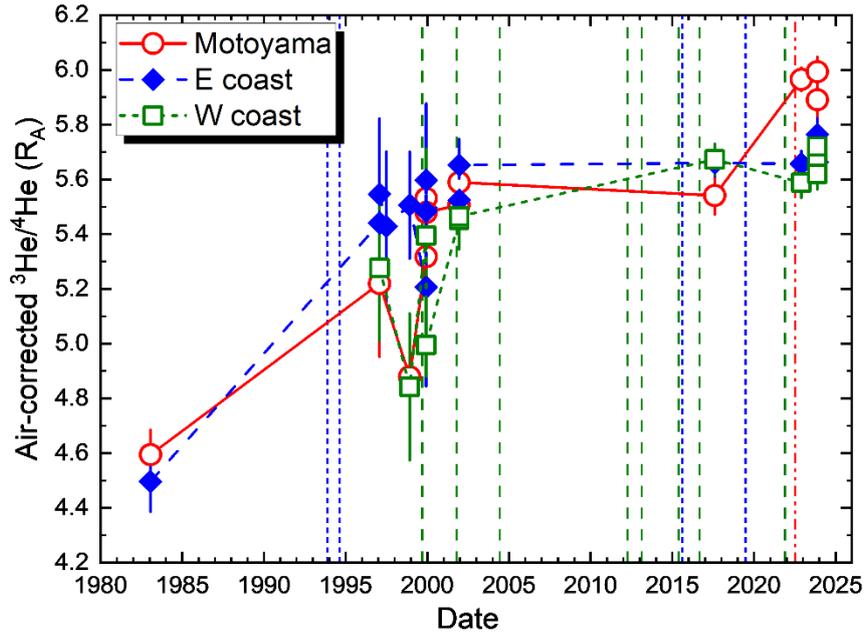


図 2. 硫黄島の火山ガス（元山：硫黄ヶ丘・大湯谷、東海岸：離岩南・金剛岩・千鳥温泉跡・箱庭浜・北ノ鼻、西海岸：沈船海岸・阿蘇台陥没孔・井戸ヶ浜・井戸ヶ浜東・漂流木火口）の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比（大気起源ヘリウム混入の効果を補正済み）の経時変化。エラーバー（ 1σ ）は、測定誤差と大気ヘリウム混入の補正に伴う誤差を含む。点線は東海岸（青）、西海岸（緑）、翁浜沖（赤）における噴火を示す。

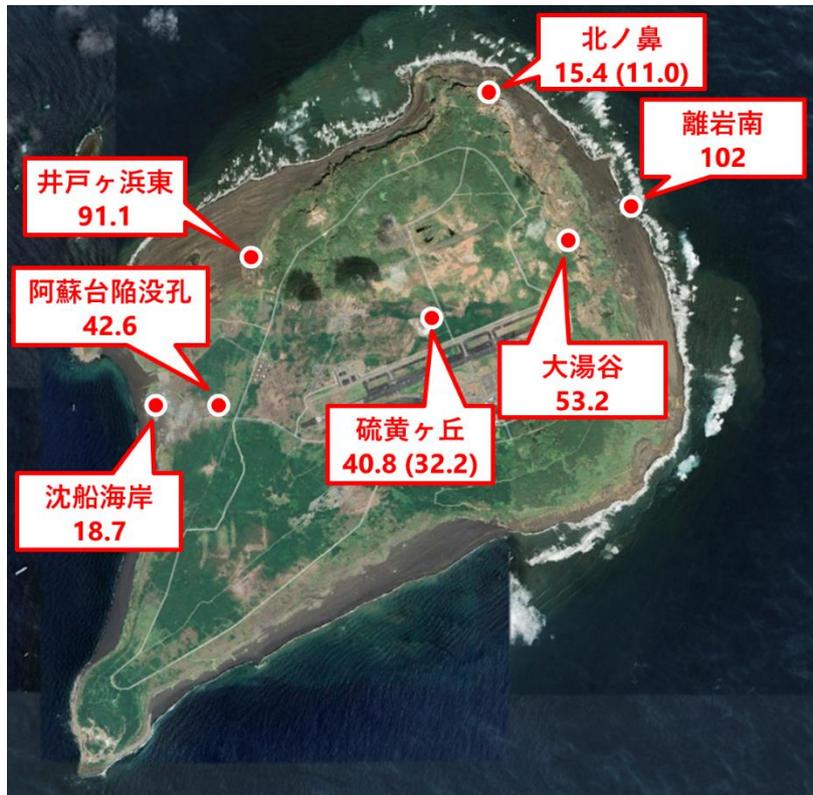


図 3. 2023 年 11 月の調査における硫黄島の火山ガス（噴気）の $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比。括弧内の数字はアルカリ性水溶液を入れた真空ガラス瓶で採取した試料を分析して得られた値。背景画像として Google Earth を使用した。

小笠原硫黄島の活動的な火口群の状況

概要

2023 年 10 月下旬から噴火を続ける翁浜沖噴火地点では、低い噴出率でマグマが噴出し、水蒸気マグマ噴火や溶岩流出によって小規模な新島を形成した。そのほかの地点では、離岩火口で小規模な火山灰の放出、離岩南火口で新たな噴出孔の形成が最近生じたことが確認された。

防災科研では活発な火山活動が続く硫黄島について、聞き取り調査や写真資料等の収集を行うとともに、2023 年 11 月 16 日~24 日、2024 年 1 月 24 日~26 日に渡島し、各火口群の状況・噴出物について現地調査をおこなった。また、2023 年 11 月 3 日、11 月 10 日には機上観察する機会も得た。それらの観察結果をまとめて報告する。

翁浜沖噴火地点

11 月の渡島時には 10 月 21 に始まった噴火活動により新島の形状変化が進行中であった(図 1)。11 月 23 日~24 日にかけては気象条件もよく、本島からコックステールジェットの噴出がよく確認できた(図 2)。夜間には赤熱した火山弾が飛行し着地後もしばらく発光していることが確認できた(図 3)。1 月の渡島時には噴火活動が確認できなかったが、噴火地点付近で変色水の湧昇がしばしば見られた(図 4)。11 月 4 日には底径 145m、海拔 25m 程の大きさがあつた火砕丘はほぼ消失しており、南北 23m、東西 14m、高さ 9-10m 程度の岩礁が残存していた(図 5、図 6)。これは 11 月 4 日~9 日頃に火砕丘南東部に流出した溶岩流で主に構成されているとみられる。火砕丘から陸側に伸びていた砂州は、火砕丘とは分離し縮小しながら陸側に移動していたが、1 月の渡島時には翁浜の海岸から 200m 程突出した半島となっており(図 4)、主に軽石質な砂礫で構成されていた(図 7)。

11 月、1 月の調査時には本島に今回の噴火の本質物質とみられる淡褐色~暗灰色の軽石ないしスコリア、火山弾状の岩塊が漂着していた。波による破壊で表面の急冷縁が欠落し、摩耗して丸みを帯びているものが多い。大型の岩塊は最大で 1.2 m の大きさがあり、しばしば赤褐色に酸化していた(図 8~10)。複数の火砕物粒子が溶結した組織をもつ岩塊も存在した(図 10)。これらは 2022 年の海底噴火噴出物にはみられない特徴であり、陸上の火砕丘を構成していたものと考えられる。砂州の半島では噴火地点に近いためか溶岩流に由来するとみられる新鮮な灰色の溶岩片も少量打ち上げられていた(図 11)。

これまでの調査結果に遠望や聞き取り調査棟の結果を加味して推定した 10 月~12 月の翁浜沖噴火の経緯、噴出率の変化を図 12 に示す。噴火様式は主に水蒸気マグマ噴火(スルツェイ式噴火)であり、溶岩流出や小規模なブルカノ式様の噴火を伴った時期は海水とマグマの接触が一時的に阻害されていた可能性がある。火砕丘を円錐台近似して求めた噴出量は海上部分のみで約 30 万 m³(約 30 万 t)、海底部分を含めると 50 万 m³(約 50 万 t) 程度と推定された。平均的な噴出率は噴火の最盛期である 11 月 3 日~4 日頃でも 10³ kg/s 程度であった。

離岩火口

離岩火口では近年しばしば噴火の痕跡が発見されている場所で、2023 年 11 月 18 日に噴火が目撃された。11 月 19 日に調査した結果、火口は岩場に囲まれた直径 25m 程度の湾状になっていた(図 13、図 14)。波が引いた際には火口底に小さなガス噴出孔が多数認められた。火口周辺には 11 月 3 日・10 日の機上観察時には確認されなかった火山灰層が広く分布しており(図 13)、火口縁で 60 cm かそれ以上、近接した岩場上で 10 cm 程度の厚さがあつた。直径 10cm 以上の噴石(投出岩塊)は火口から最大で 110m 先まで到達していた。海上部分についての分布は不明であるが、少なくとも降灰軸が南側と南西側にあることから、複数回の噴火で堆積したものとみられる。Fierstein & Nathenson(1992)の方法で求めた噴出量は 500~1000 m³ (500~1000 t)程度であった。火山灰はこれまでと同様に粘土混じりの砂礫からなり(図 15)、粗粒な本質粒子は含まれていないとみられる。

1 月の渡島時には火口底は完全に海中に没していた(図 14)。また、火口周辺には 1~2 cm 程度の厚さで
小笠原硫黄島

新たに火山灰が堆積しており、最近も噴火が発生している可能性がある。

離岩南火口

離岩南火口も近年小規模な噴火や熱水噴出が発生している。11月と1月の調査時で状況に大きな違いは認められなかったので、見取り図には1月の状況を示す(図16)。噴出孔Gの場所での熱水の噴出は継続しており、そのほか噴出孔F、噴出孔Hで噴気活動が続いていた。噴出孔Aでは湯だまりが存在せず、周辺も変化が少ない静穏な状態であった(図17)。噴出孔Cでは弱い噴気があり、中央の入れ子状の噴出孔に流入するガリーが外側火口縁を横断する部分には直径5~6m程度の陥没孔の可能性のある凹地が形成されていた(図18、図19)。また東側に直径1.5m程度の小噴出孔が形成されていた(図18、図20)。噴出孔Jは8月に気象庁機動観測班が発見したもので、噴出孔Cの南側の断層沿いにあり、複数の噴出孔が連なって長径15m程度の大きさがあった。内部に泥状の噴出物が堆積した形跡があった。さらに断層に沿って南側には直径2m程度の噴出孔Kが新たに確認された(図21)。これは11月3日・10日の機上観察時には存在していたとみられる。噴出物は長さ・幅が数m程度の小規模な泥流堆積物であった。

井戸ヶ浜火口

2023年12月に局所的な膨張を示唆する地殻変動が観測されていた井戸ヶ浜火口周辺について、1月の渡島時に調査した結果、地表に明瞭な変形や噴出現象が発生したような痕跡は確認できなかった(図22)。

その他の火口

そのほかの11月に観察した阿蘇台陥没口、北ノ鼻火口、漂流木海岸火口では弱い噴気が認められる程度の静穏な状況であった。

以上は現時点でのまとめであり、今後の精査により修正されることがある。

謝辞 火山活動に関する資試料の収集及び現地調査に際して海上自衛隊海上幕僚監部及び硫黄島航空基地隊気象班、気象庁火山監視・警報センターの御協力を得た。機上観察に際しては海上保安庁海洋情報部と朝日新聞社の御協力を得た。以上の方々に記して御礼申し上げます。

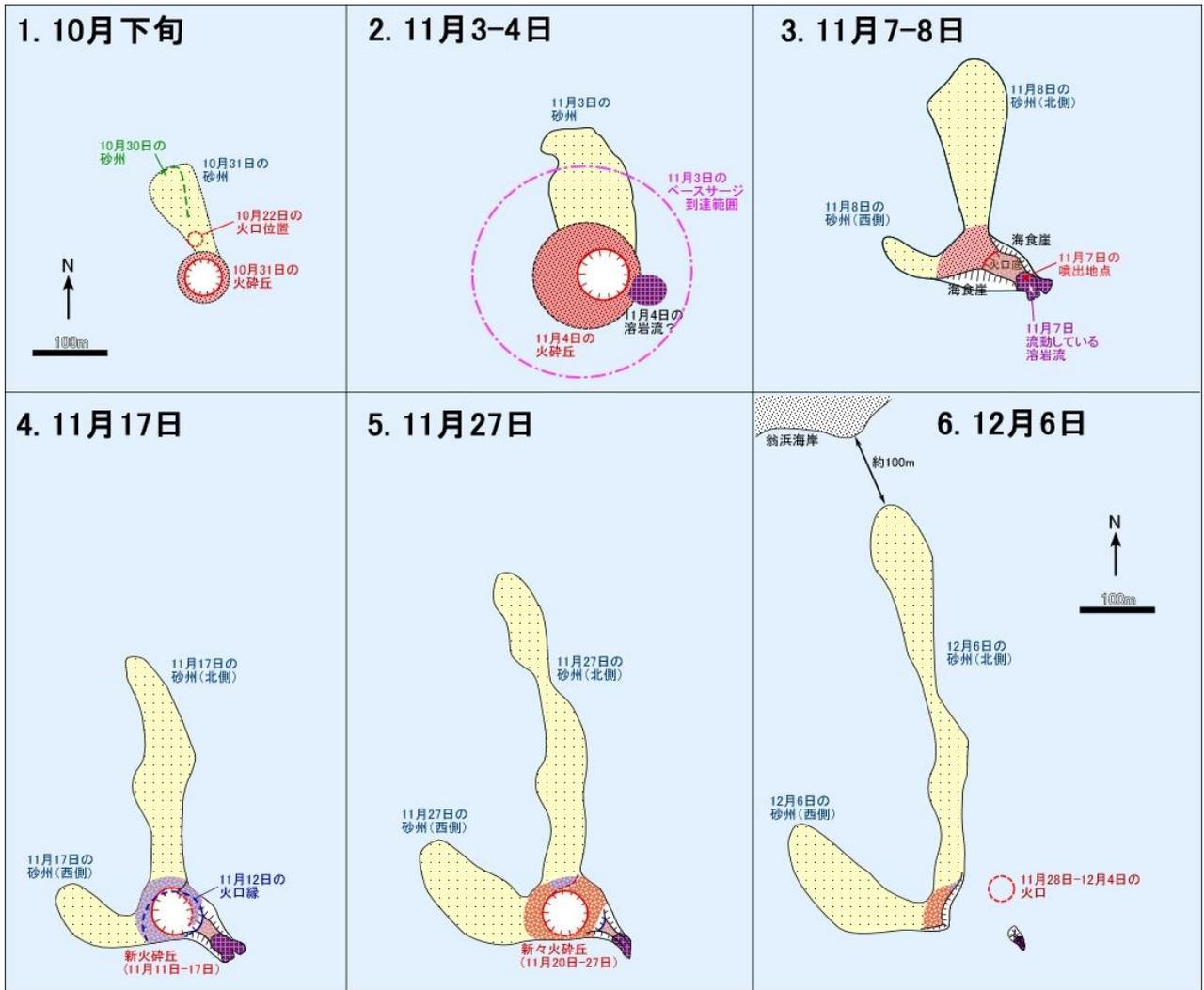


図 1 翁浜沖新島の形状変化。作成の際に海自提供資料・地理院公表資料・Sentinel-2(ESA)画像、海上保安庁機並びに朝日新聞社機からの観察資料を利用した。



図 2 翁浜沖の噴火 (11 月 23 日 15 : 04)。



図 3 翁浜沖の夜間の噴火(11 月 23 日 21 : 12)。



図 4 北側からみた砂州と岩礁(1月24日)。岩礁の西(右)側に明色の変色水の湧出がみられる。



図 5 北東からみた翁浜沖の岩礁(1月25日)。



図 6 北側の砂州からみた翁浜沖の岩礁(1月25日)。



図 7 砂州を構成する堆積物(1月25日)。



図 8 砂州に漂着した火山弾の破片(1月25日)。ひび割れた急冷縁が部分的に残存している。



図 9 砂州に漂着した火山弾の破片(1月25日)。円磨されている。



図 10 砂州に漂着した火山弾の破片(1月 25 日)。 図 11 砂州に漂着した溶岩の破片(1月 25 日)。細粒な火山礫粒子が溶結している。

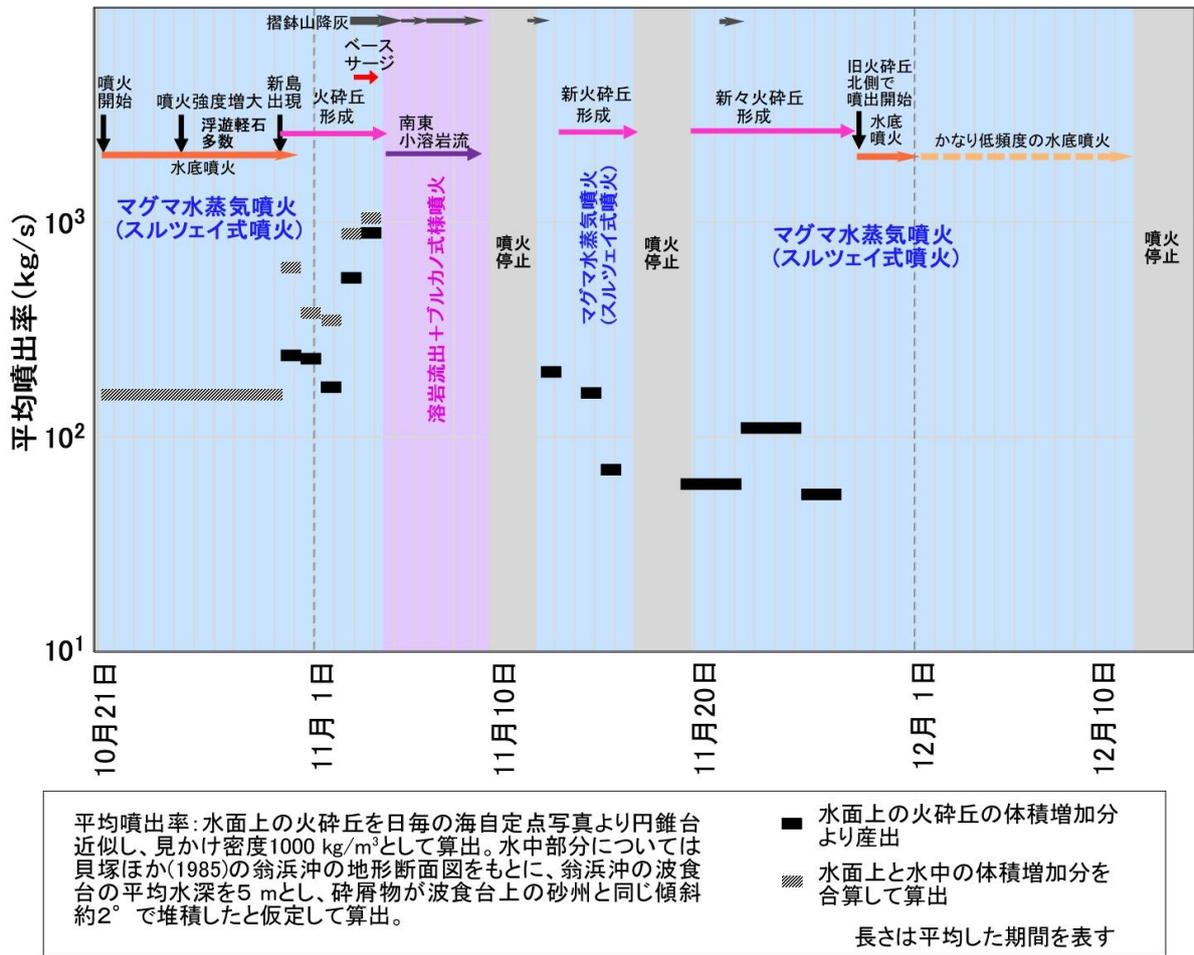


図 12 2023 年 10 月~12 月の翁浜沖噴火の経緯と噴出率推定

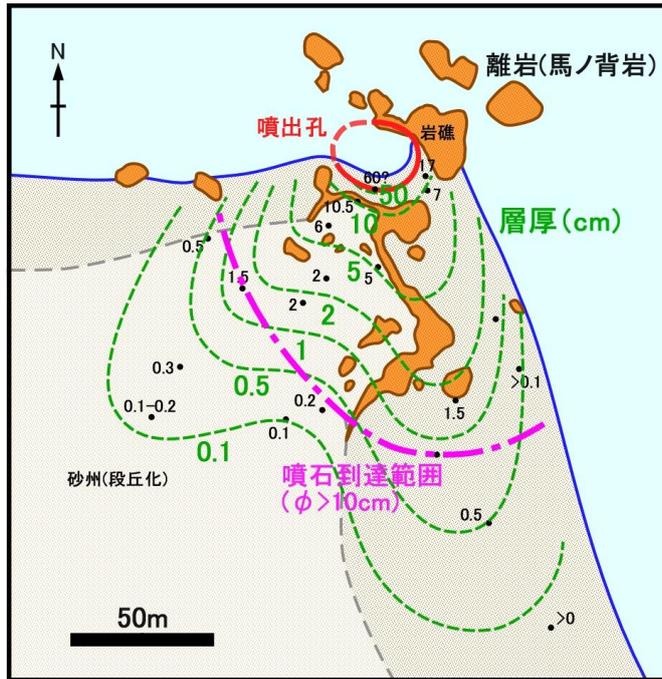


図 13 離岩(馬ノ背岩)火口の見取り図 (11月19日調査)。噴出した火山灰層の厚さと噴石の分布範囲を示す。

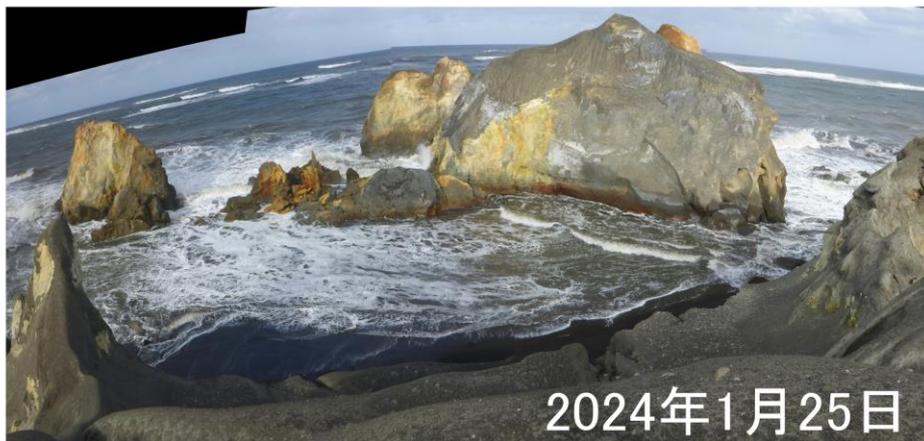


図 14 離岩(馬ノ背岩)火口の状況



図 15 離岩(馬ノ背岩)火口の噴出物。
火口南側の岩場上に堆積した火山灰層
(11月19日撮影)。

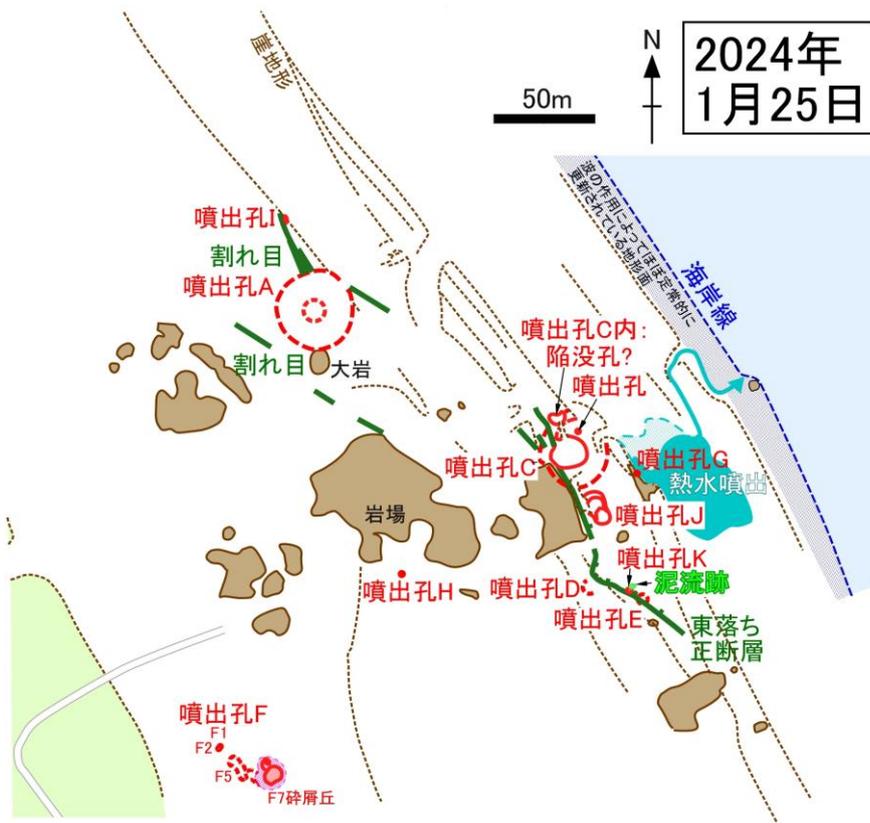


図 16 離岩南(馬ノ背岩南)火口の見取り図。



図 17 離岩南火口噴出孔 A 付近の状況

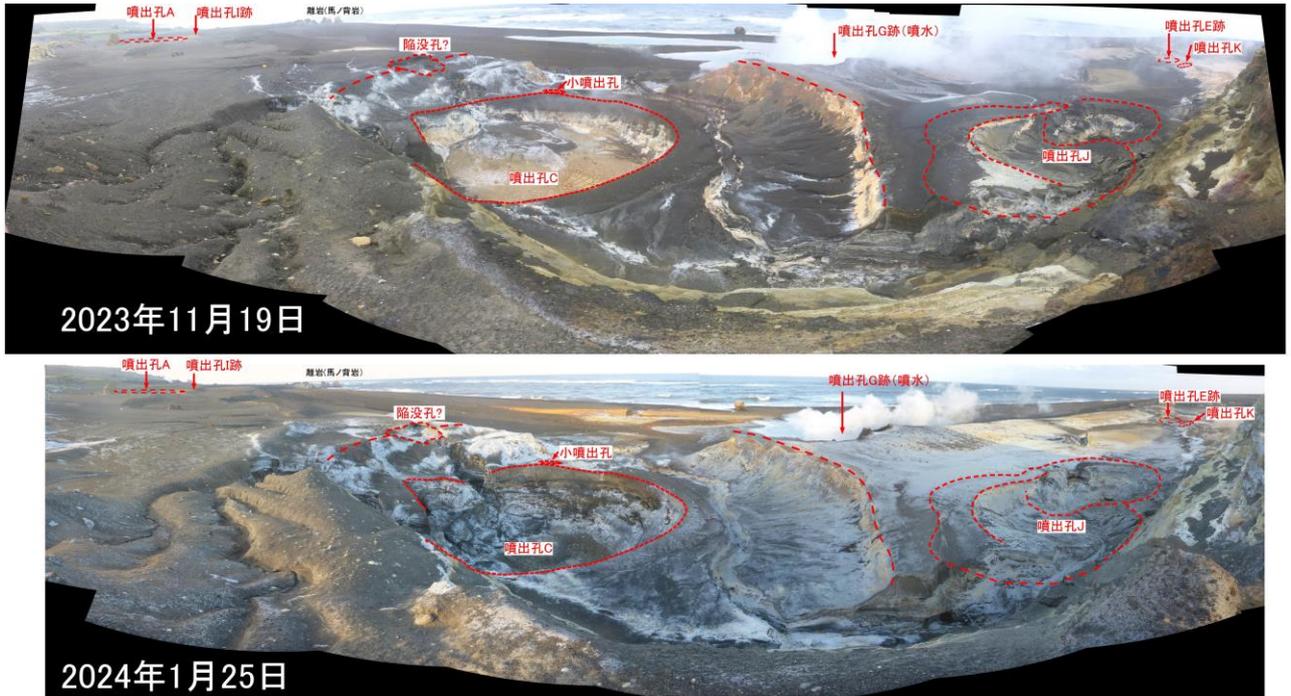


図 18 離岩南火口噴出孔 C 付近の状況



図 19 噴出孔 C 北縁に生じた陥没孔(?)状の凹地 (11月19日)。



図 20 噴出孔 C 東部に生じた小噴出孔(11月19日)。



図 21 噴出孔 K とそこから流出した小規模な泥流堆積物。

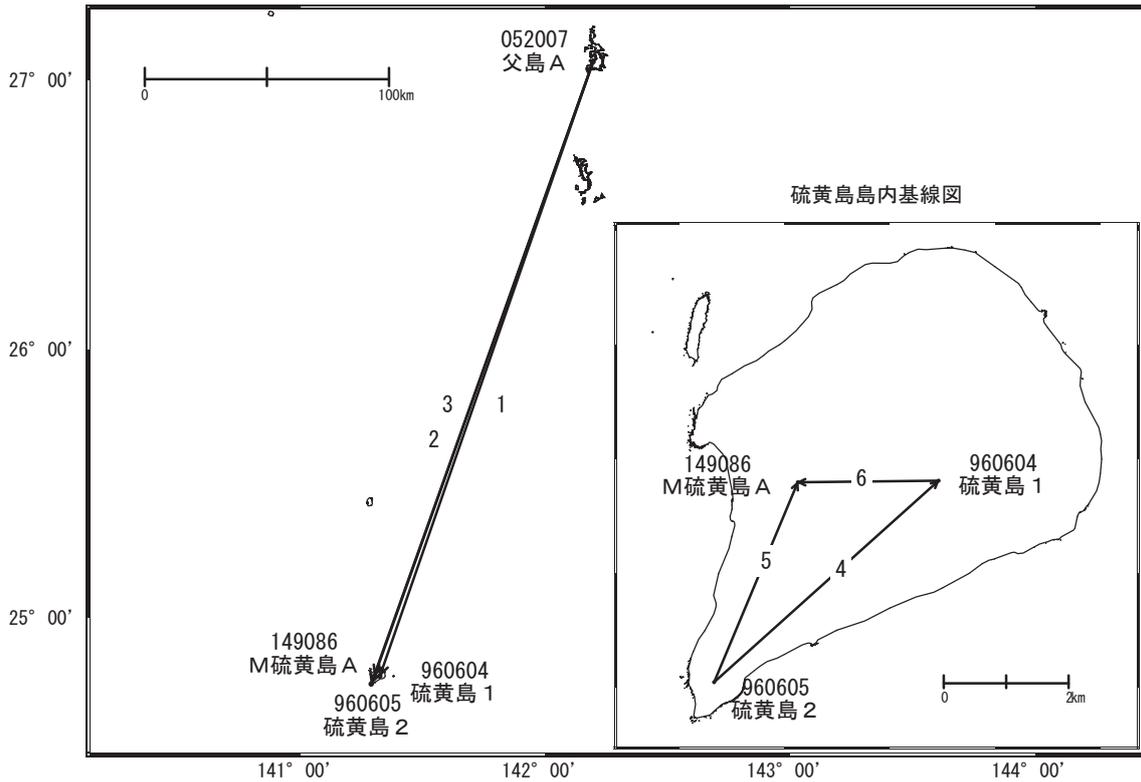


図 22 井戸ヶ浜 2015-16 年火口の状況 (1 月 25 日)。

硫黄島

「硫黄島1」及び「M硫黄島A」では隆起が、「硫黄島2」では南向きの変動が継続しています。

硫黄島周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図

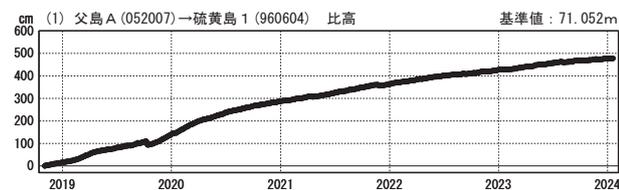
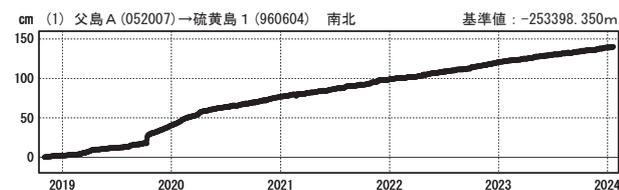
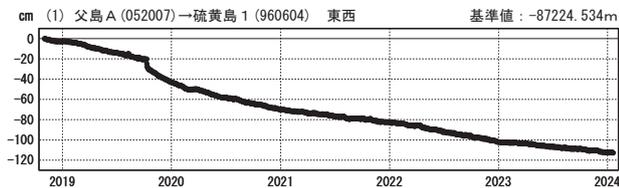
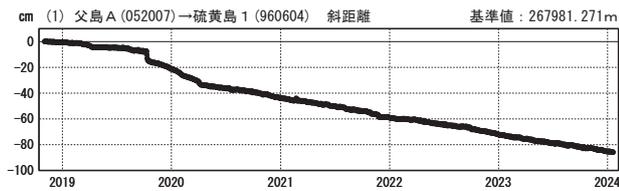


硫黄島周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
960604	硫黄島1	2021-02-24	受信機交換
		2023-03-28	受信機更新
960605	硫黄島2	2019-02-28	受信機交換
		2023-03-28	受信機更新
		2024-01-09	受信機交換
149086	M硫黄島A	2021-02-24	受信機交換
052007	父島A	2021-12-05	受信機更新

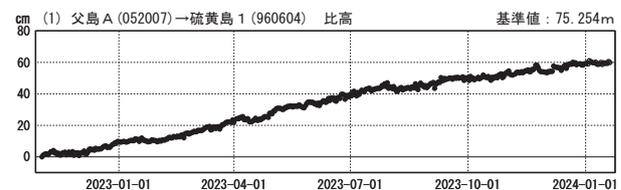
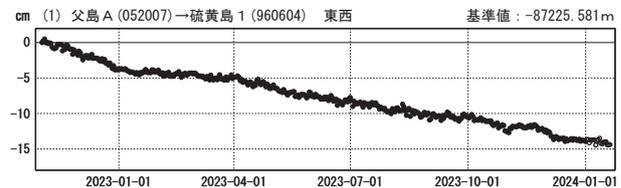
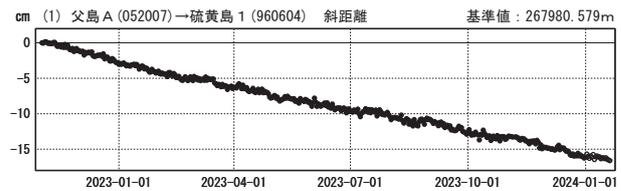
成分変化グラフ（長期）

期間：2018-11-01~2024-01-19 JST



成分変化グラフ（短期）

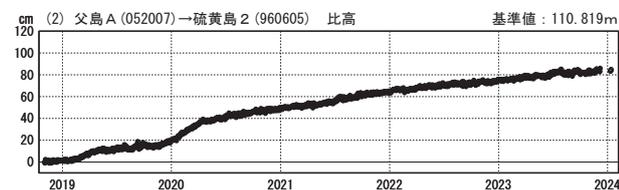
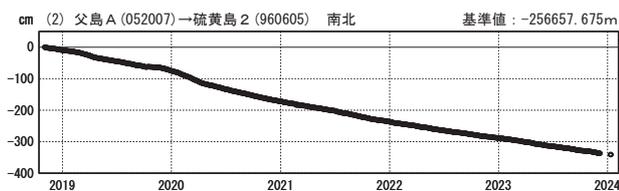
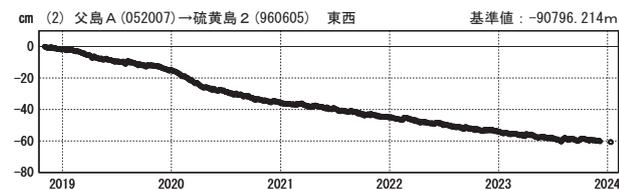
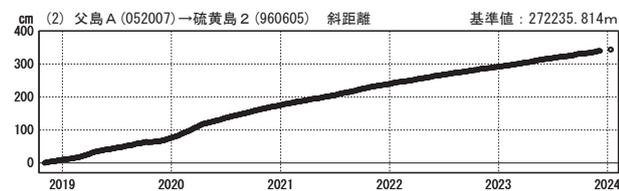
期間：2022-11-01~2024-01-19 JST



国土地理院

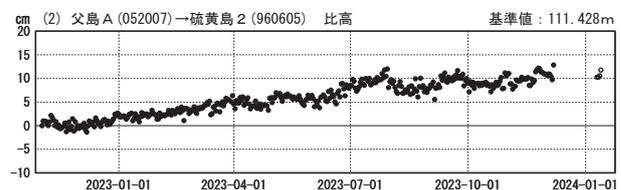
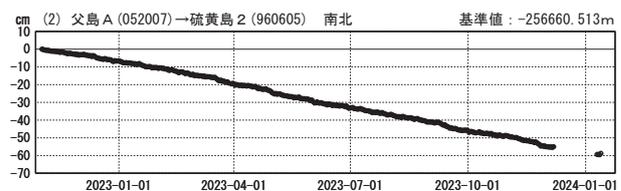
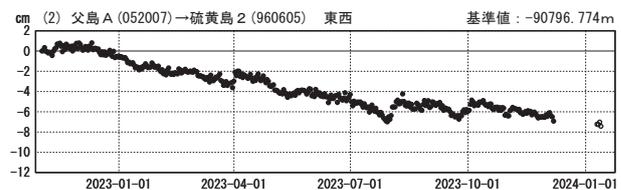
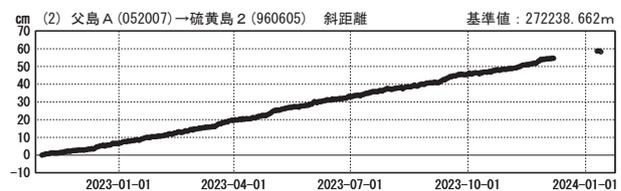
成分変化グラフ（長期）

期間：2018-11-01~2024-01-19 JST



成分変化グラフ（短期）

期間：2022-11-01~2024-01-19 JST



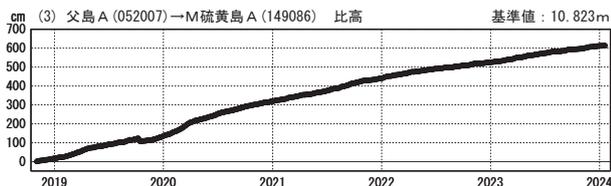
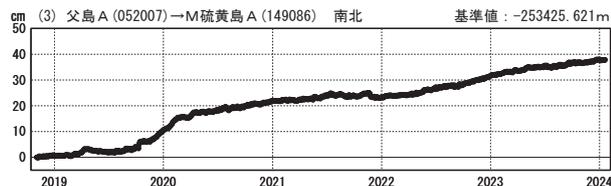
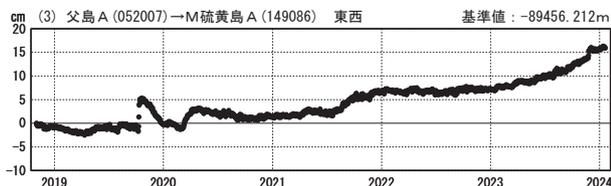
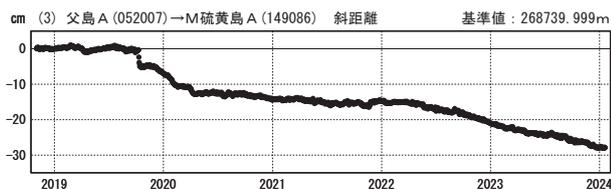
国土地理院

※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

硫黄島

成分変化グラフ（長期）

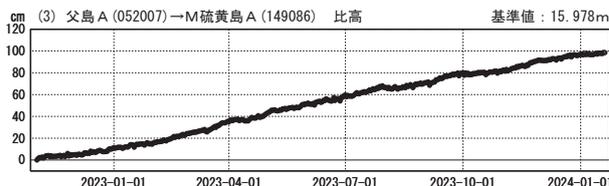
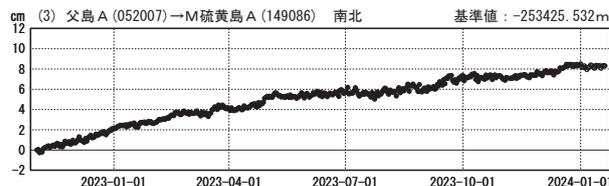
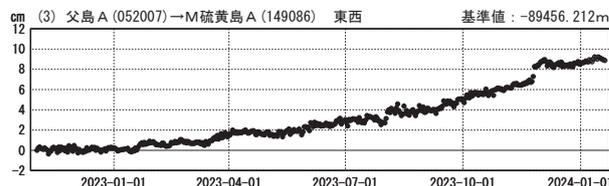
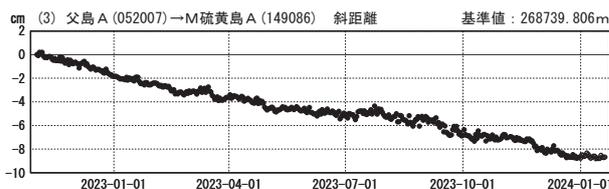
期間：2018-11-01～2024-01-19 JST



●—[F5:最終解] ○—[R5:速報解]

成分変化グラフ（短期）

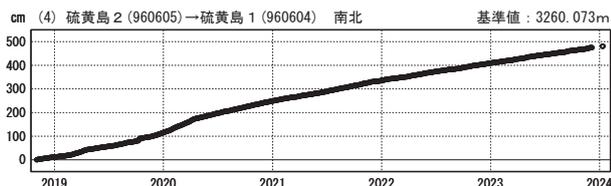
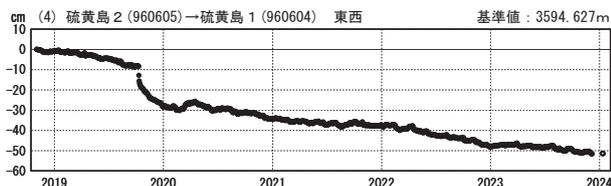
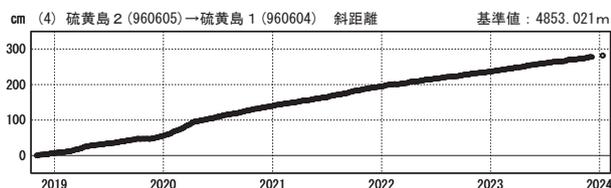
期間：2022-11-01～2024-01-19 JST



国土地理院

成分変化グラフ（長期）

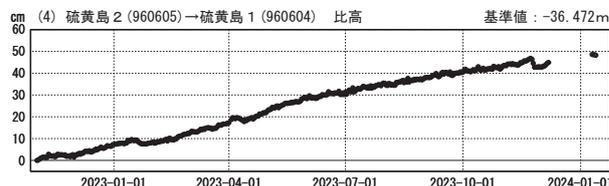
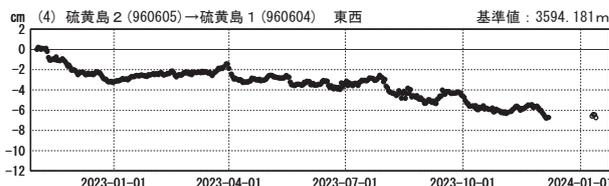
期間：2018-11-01～2024-01-19 JST



●—[F5:最終解] ○—[R5:速報解]

成分変化グラフ（短期）

期間：2022-11-01～2024-01-19 JST



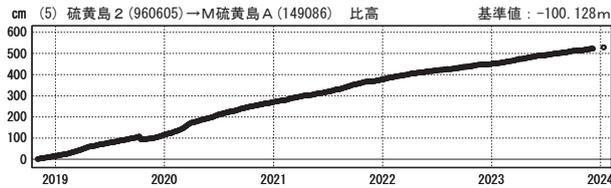
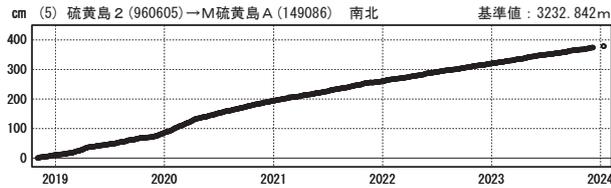
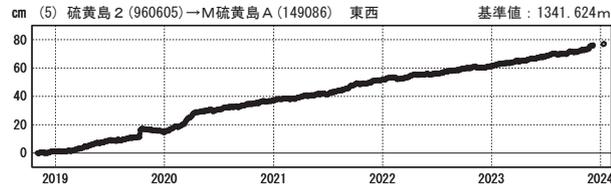
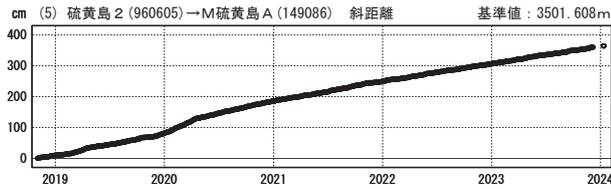
国土地理院

※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

硫黄島

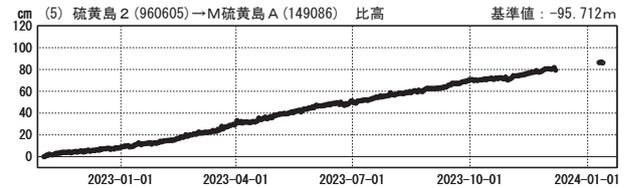
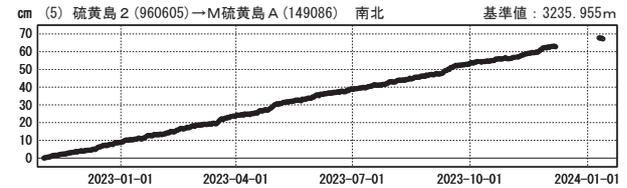
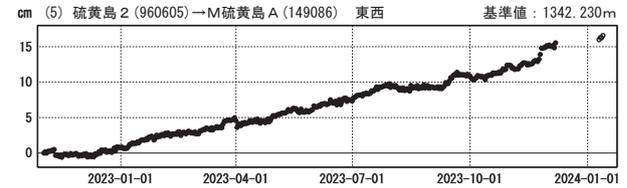
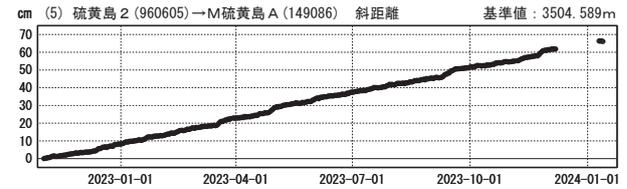
成分変化グラフ（長期）

期間：2018-11-01～2024-01-19 JST



成分変化グラフ（短期）

期間：2022-11-01～2024-01-19 JST

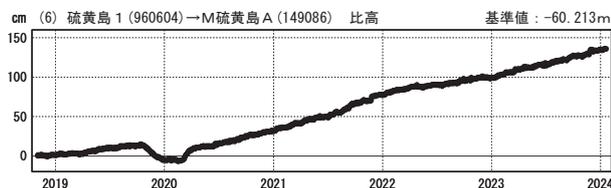
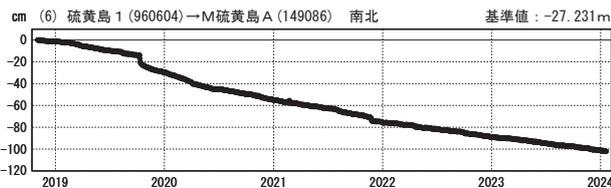
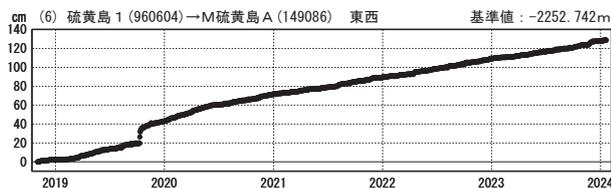
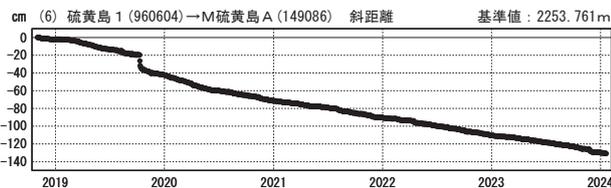


●—[F5:最終解] ○—[R5:速報解]

国土地理院

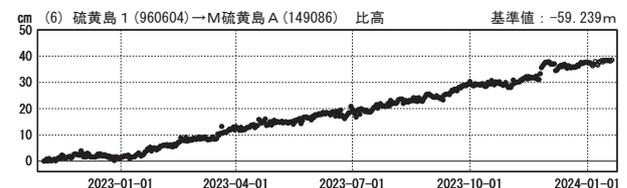
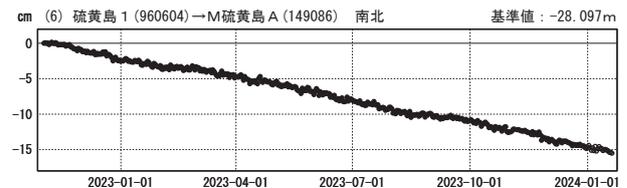
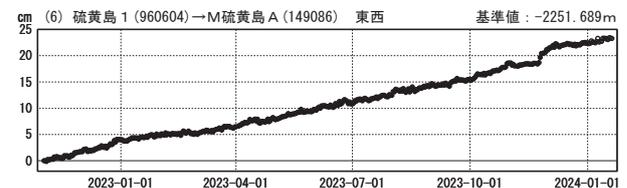
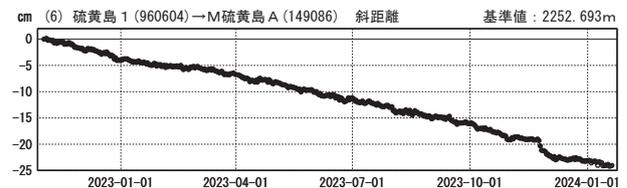
成分変化グラフ（長期）

期間：2018-11-01～2024-01-19 JST



成分変化グラフ（短期）

期間：2022-11-01～2024-01-19 JST



●—[F5:最終解] ○—[R5:速報解]

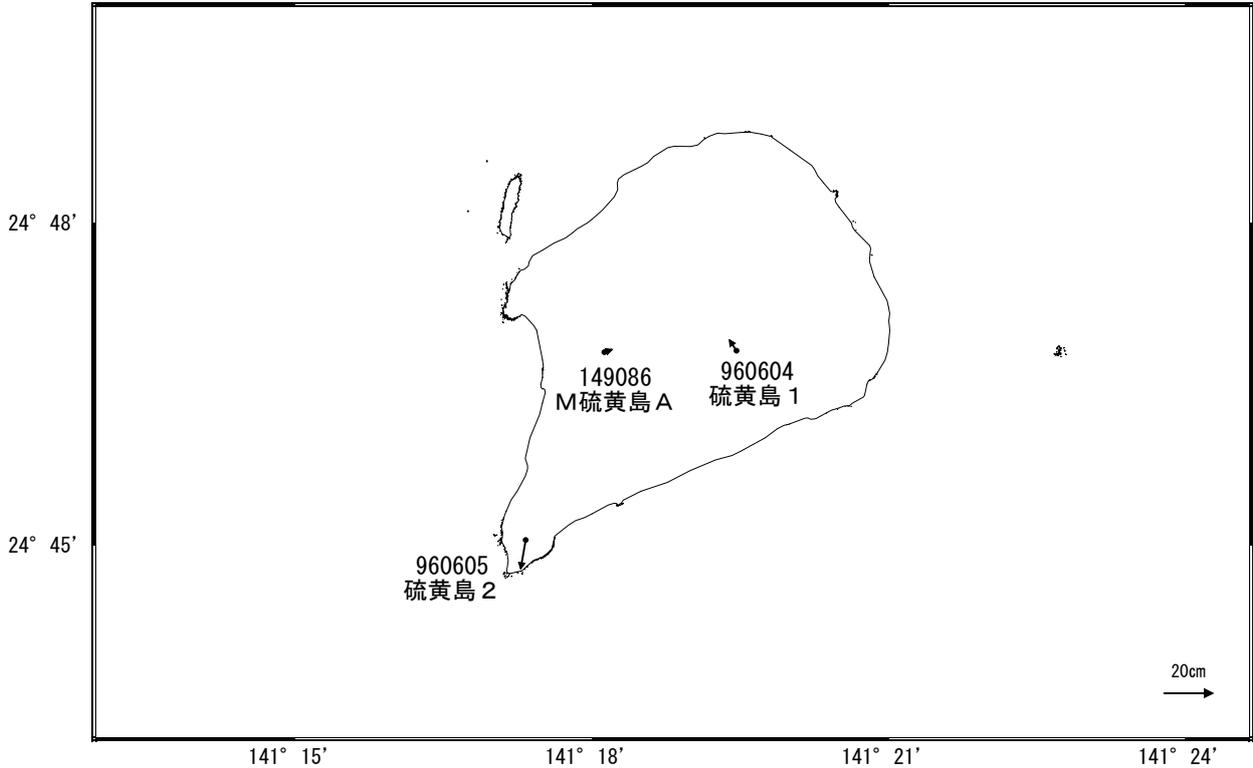
国土地理院

※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

硫黄島

硫黄島周辺の地殻変動(水平:3か月)

基準期間:2023-10-10~2023-10-19[F5:最終解]
比較期間:2024-01-10~2024-01-19[R5:速報解]

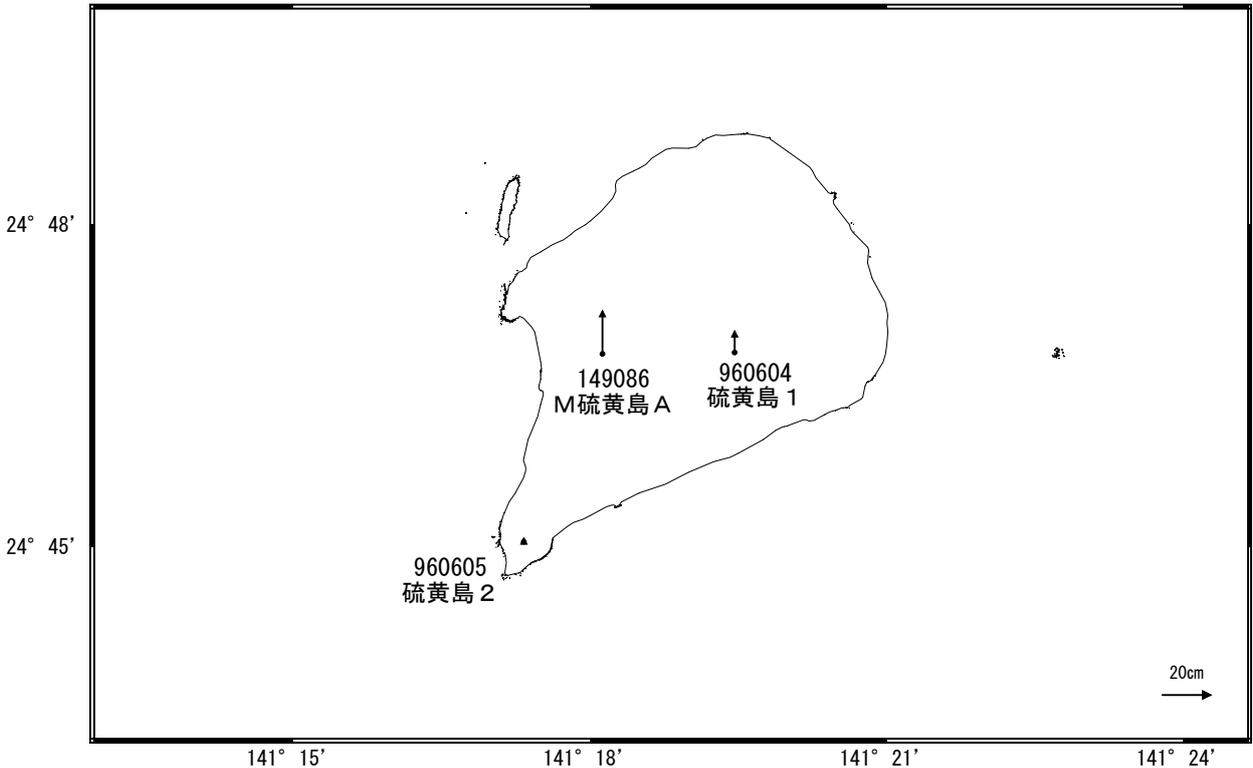


☆ 固定局:父島 A (052007)

国土地理院

硫黄島周辺の地殻変動(上下:3か月)

基準期間:2023-10-10~2023-10-19[F5:最終解]
比較期間:2024-01-10~2024-01-19[R5:速報解]

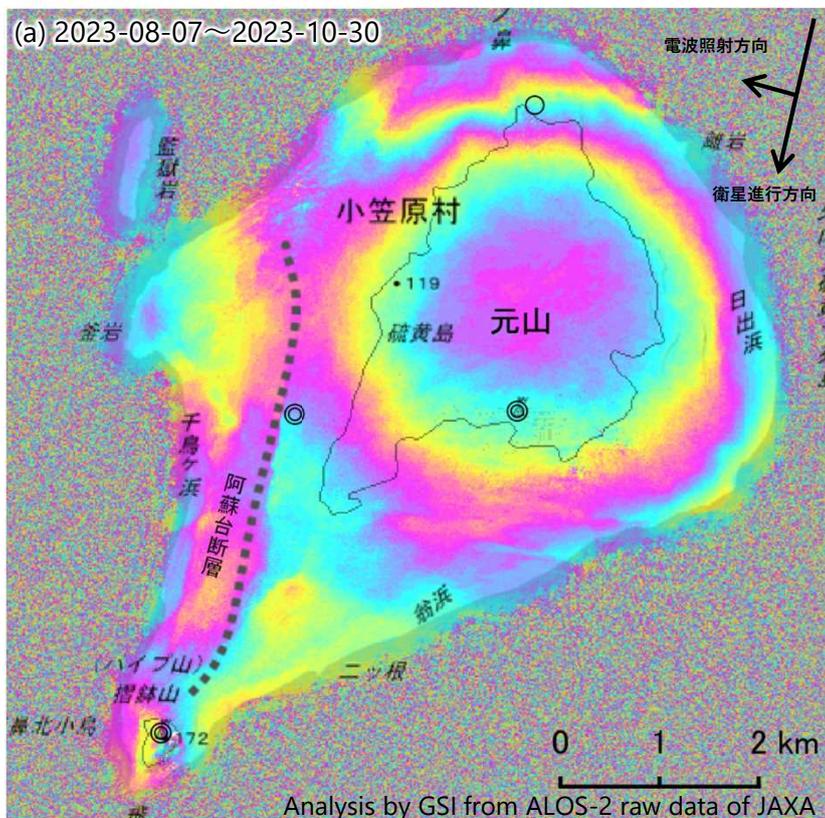


☆ 固定局:父島 A (052007)

国土地理院

硫黄島のSAR干渉解析結果について

(a)では、元山付近に収縮とみられる変動が、摺鉢山付近に周囲と比べて衛星から遠ざかる変動が見られます。また、阿蘇台断層に沿って変動が見られます。



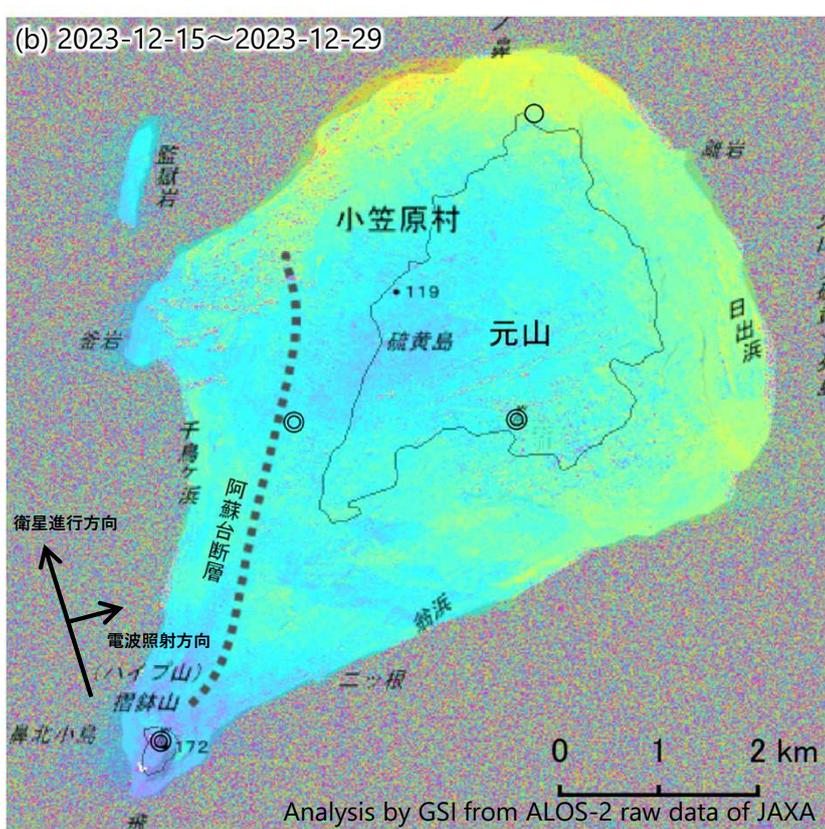
	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2023-08-07 2023-10-30 11:32頃 (84日間)	2023-12-15 2023-12-29 23:42頃 (14日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	S-S
入射角	37.2°	44.7°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 232m	+ 18m

* U：高分解能(3m)モード
S：スポットライト (3×1m) モード

◎ 国土地理院GNSS観測点
○ 国土地理院以外のGNSS観測点

近づくと遠ざかる
(隆起、東向) ← → (沈降、西向)

-12 -9 -6 -3 0 3 6 9 12
衛星-地表視線方向の変位量 [cm]



近づくと遠ざかる
(隆起、西向) ← → (沈降、東向)

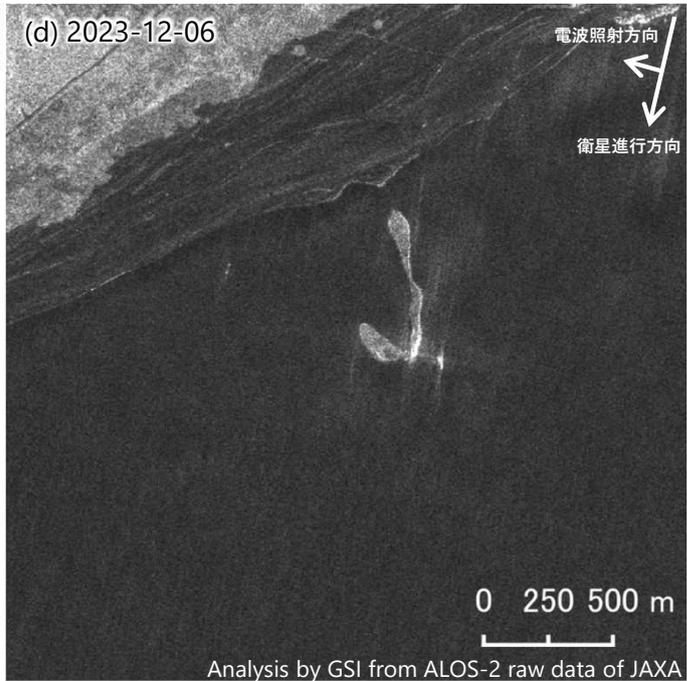
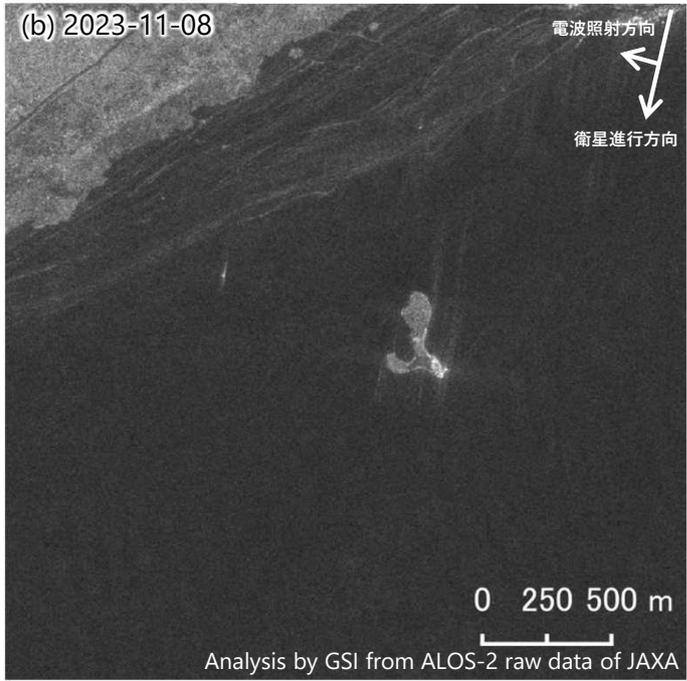
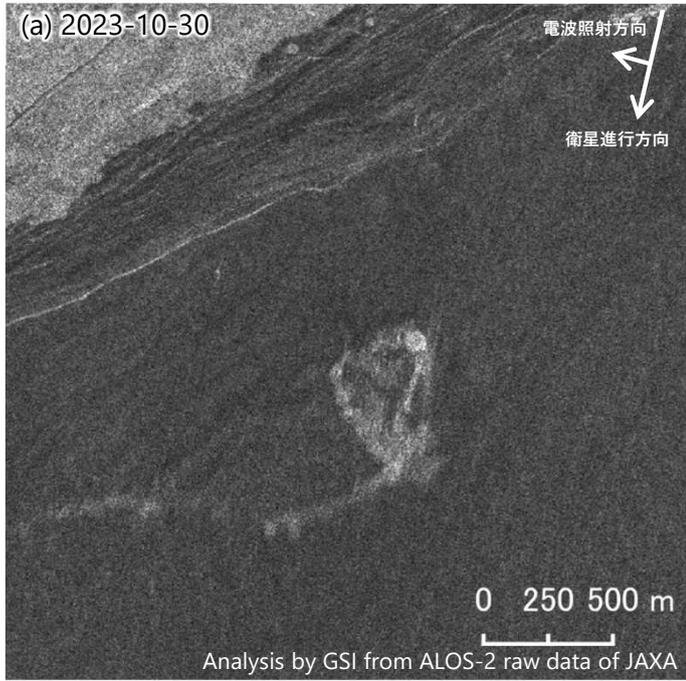
-12 -9 -6 -3 0 3 6 9 12
衛星-地表視線方向の変位量 [cm]

背景：地理院地図 標準地図

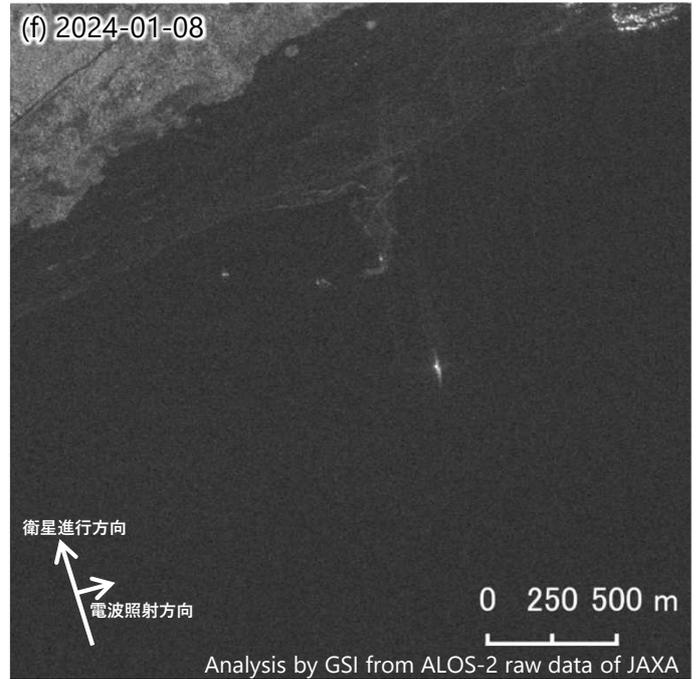
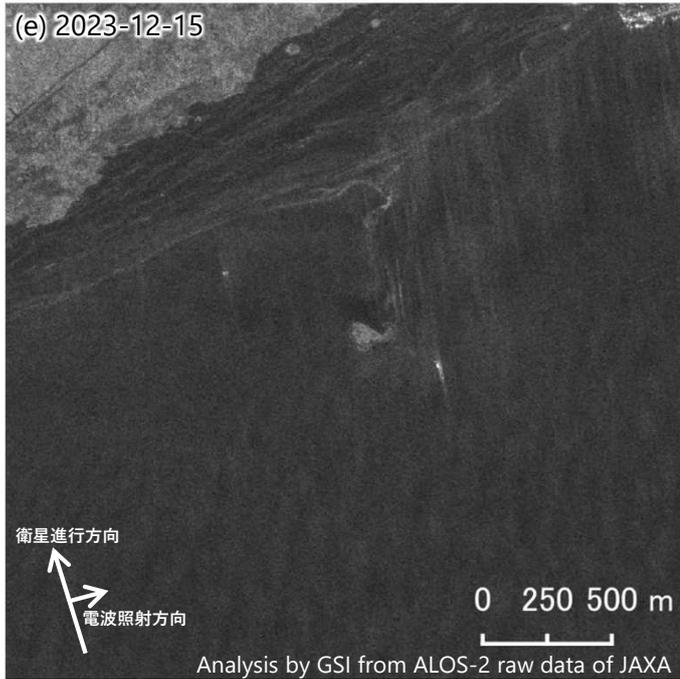
本解析で利用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

硫黄島のSAR強度画像について

(a)～(d)では、翁浜沖に陸地を示す反射強度の強い領域が見られます。(e)以降、陸地を示す領域が小さくなっています。



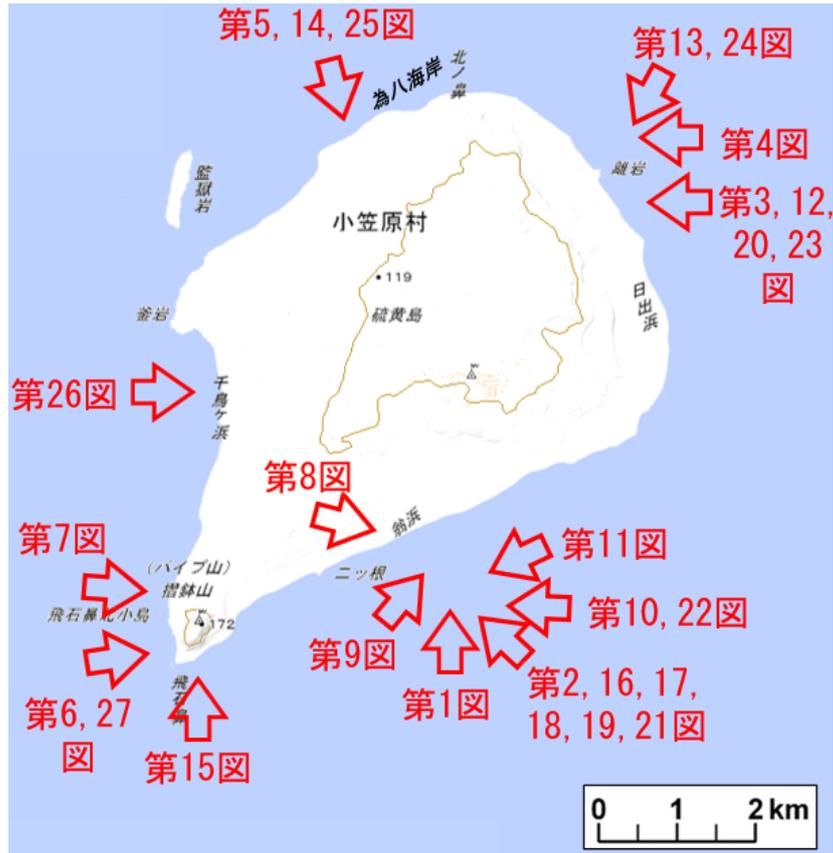
本解析で利用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。



	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2023-10-30 11:32頃	2023-11-08 11:25頃	2023-11-22 11:25頃	2023-12-06 11:25頃	2023-12-15 23:42頃	2024-01-08 23:55頃
衛星進行方向	南行	南行	南行	南行	北行	北行
電波照射方向	右(西)	右(西)	右(西)	右(西)	右(東)	右(東)
観測モード*	U	S	S	S	S	S
入射角	37.2°	47.6°	47.6°	47.6°	44.7°	60.1°
偏波	HH	HH	HH	HH	HH	HH

* U：高分解能(3m)モード
S：スポットライト (3×1m) モード

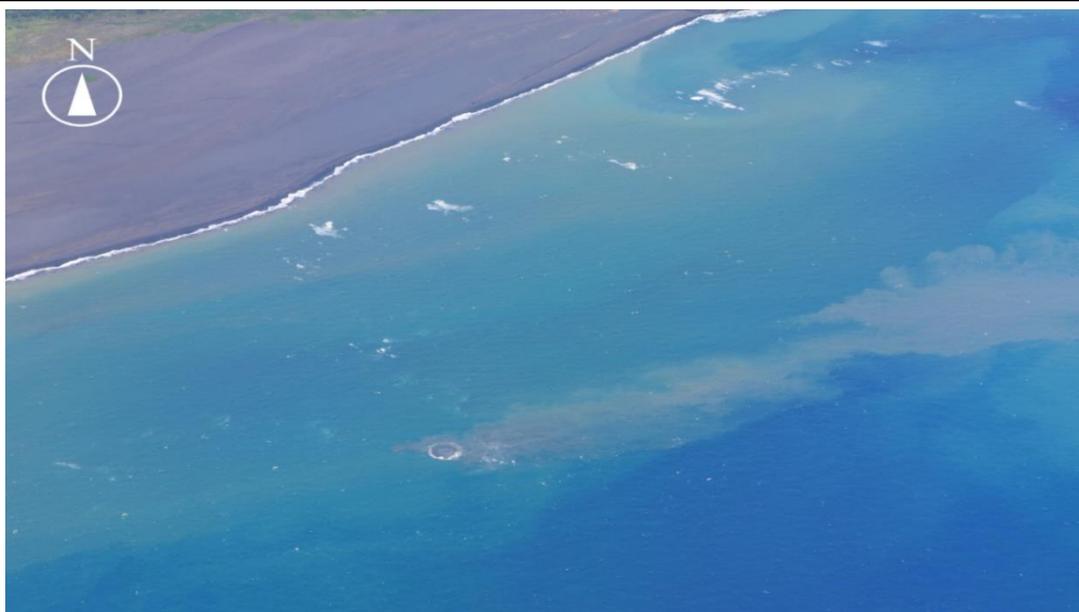
硫黄島



地形図は国土地理院の地理院地図を使用した

○ 最近の活動について

年月日	活動状況
2023/6/22	2021年以降断続的に噴火が発生している翁浜沖に灰色～茶褐色の変色水の湧出を、付近に茶褐色～青白色の変色水域を認めた（第1、2図）。



第1図 硫黄島 翁浜沖の変色水 2023年6月22日 11:49 撮影



第 2 図 硫黄島 翁浜沖の変色水 2023 年 6 月 22 日 11:46 撮影

年月日	活 動 状 況
2023/10/4	<ul style="list-style-type: none"> ・ 離岩南部の噴出孔では、2 箇所から白色噴気の放出を認めた。噴出孔付近に薄い青緑色の湯だまりを認めた。噴出孔 A に湯だまりは認められなかった（第 3 図）。 ・ 離岩から北ノ鼻の海岸の 3 箇所から白色噴気を認めた（第 4 図）。 ・ 北ノ鼻西部の噴出孔 3 孔について、1 孔は茶褐色、1 孔は黄土色及び薄い緑色の変色水だまりを認め、残りの 1 孔はほぼ埋まっていた（第 5 図）。 ・ 摺鉢山周辺の海域に少量の浮遊物を認めた（第 6 図）。 ・ 島の周囲で広範囲に茶褐色～緑色の変色水を認めた（第 6、7 図）。



第 3 図 離岩南部の噴出孔
2023 年 10 月 4 日 13:57 撮影



第 4 図 離岩～北ノ鼻

2023 年 10 月 4 日 13:57 撮影



第 5 図 北ノ鼻南西部の噴出孔

2023 年 10 月 4 日 13:52 撮影



第 6 図 摺鉢山周辺 2023 年 10 月 4 日 13:54 撮影



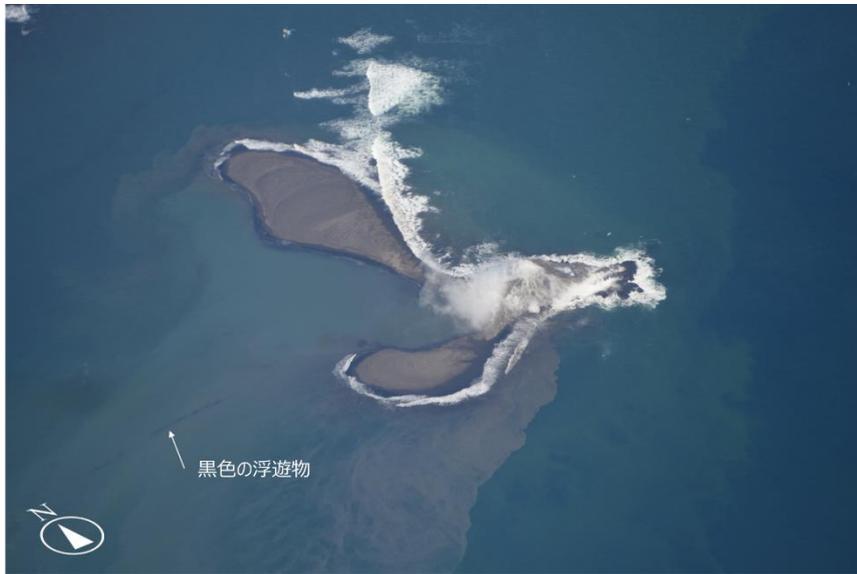
第 7 図 南東岸

2023 年 10 月 4 日 13:54 撮影

年月日	活動状況
2023/11/10	<ul style="list-style-type: none"> ・硫黄島南岸の翁浜沖約 1km の海上で数十mの高さの噴気を上げている新島を確認した。噴火は認められなかった（第 8～10 図）。 ・新島は溶岩と火砕物で構成されており、大きさは南北に約 400m、東西に約 200m であった。噴気は溶岩流と火砕丘から上がっており、火砕丘の場所は新島南端中央付近にあり、火砕丘より北側、南東側、西側に陸地が伸びていた（第 8～10 図）。 ・新島の噴火口より南東側に溶岩が小規模に流出した形跡を認めた（第 8～10 図）。 ・新島周辺に濃い茶色～濃い黄緑色の変色水域及び少量の黒色の浮遊物を認めた（第 8～10 図）。 ・新島の火砕丘周辺は他の部分と比較して高温であった（第 11 図）。 ・離岩南部の噴出孔では、1 箇所から白色噴気の放出を認めた。噴出孔付近に薄い青緑色の湯だまりを認めた。噴出孔 A に湯だまりは認められなかった（第 12 図）。 ・離岩北部の海岸の 1 箇所で白色噴気を認めた（第 13 図）。 ・北ノ鼻西部の噴出孔 3 孔について、1 孔は茶褐色、1 孔は黄緑色及び薄い緑色の変色水だまりを認め、残りの 1 孔はほぼ埋まっていた（第 14 図）。 ・摺鉢山周辺の海域に新島由来と思われる少量の黒色の浮遊物を認めた（第 15 図）。 ・硫黄島の周囲で広範囲に茶褐色～緑色の変色水を認めた。



第 8 図 翁浜沖の新島 遠景
2023 年 11 月 10 日 13:00 撮影



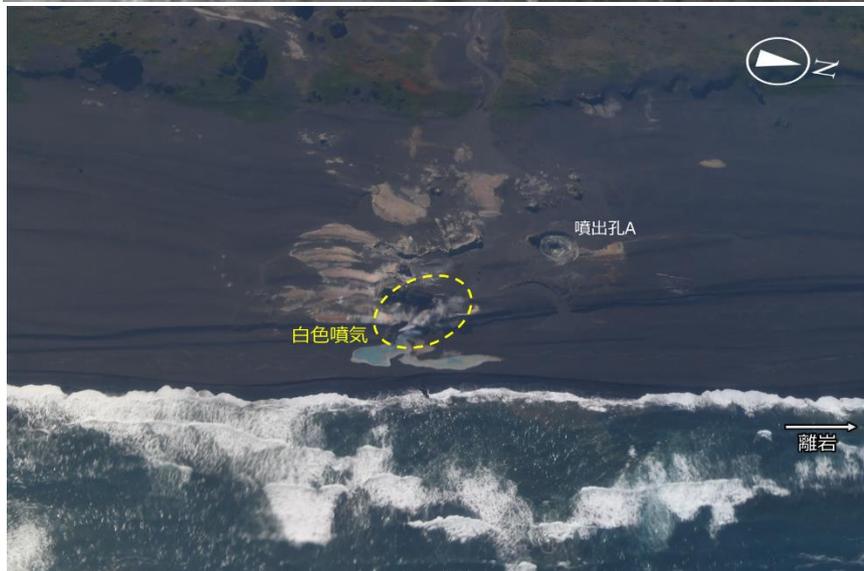
第 9 図 翁浜沖の新島 近景
2023 年 11 月 10 日 13:15 撮影



第 10 図 翁浜沖の新島 近景
2023 年 11 月 10 日 13:11 撮影



第 11 図 翁浜沖の新島 赤外面像
2023 年 11 月 10 日 12:55 撮影



第 12 図 離岩南部の噴出孔
2023 年 11 月 10 日 13:22 撮影



第 13 図 離岩北部の白色噴気
2023 年 11 月 10 日 13:17 撮影



第 14 図 北ノ鼻南西部の噴出孔
2023 年 11 月 10 日 13:18 撮影



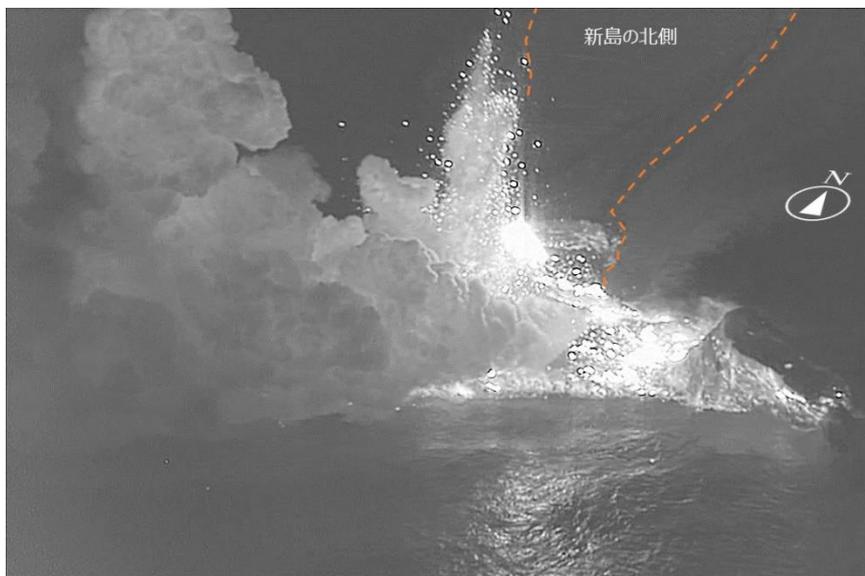
第 15 図 摺鉢山周辺
2023 年 11 月 10 日 13:21 撮影

年月日	活 動 状 況
2023/11/23	<ul style="list-style-type: none"> ・硫黄島南岸の翁浜沖約 1km の新島火砕丘から、間欠的に噴煙が高度約 200m まで上がるようなマグマ水蒸気噴火を認めた。火山灰混じりの噴煙と共に、まだ熔融状態と思われるちぎれた溶岩片が見られた（第 16～18 図）。 ・新島の大きさは南北に約 450m、東西に約 200m であり、11/10 の観測と比較して北方向に 50m 延伸していた（第 16 図）。 ・新島周辺に変色水域を認めるが光量が不足していたため色等は不明である。浮遊物は見られなかった（第 16 図）。



第 16 図 翁浜沖の新島の噴火
(遠景)

2023 年 11 月 23 日 15:56 撮影



第 17 図 翁浜沖の新島の噴火
(赤外画像)

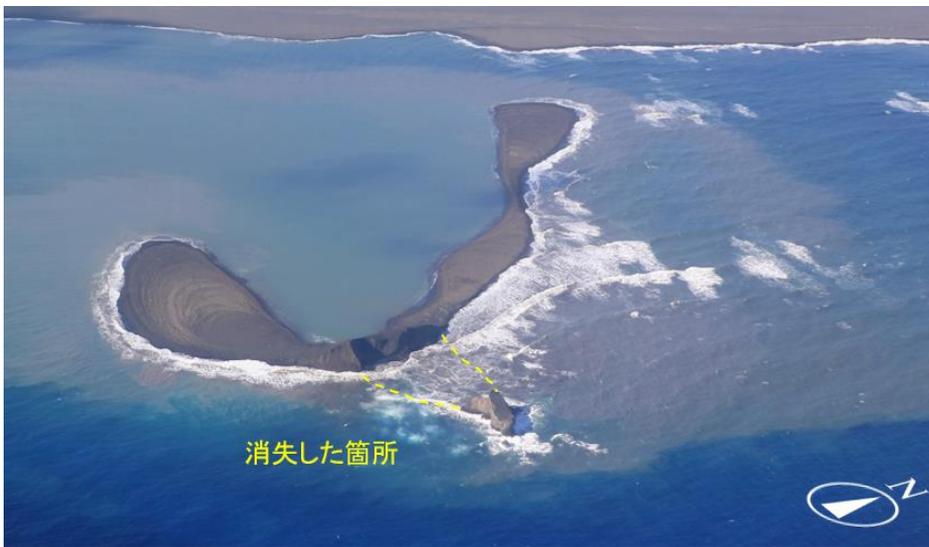
2023 年 11 月 23 日 16:02 撮影



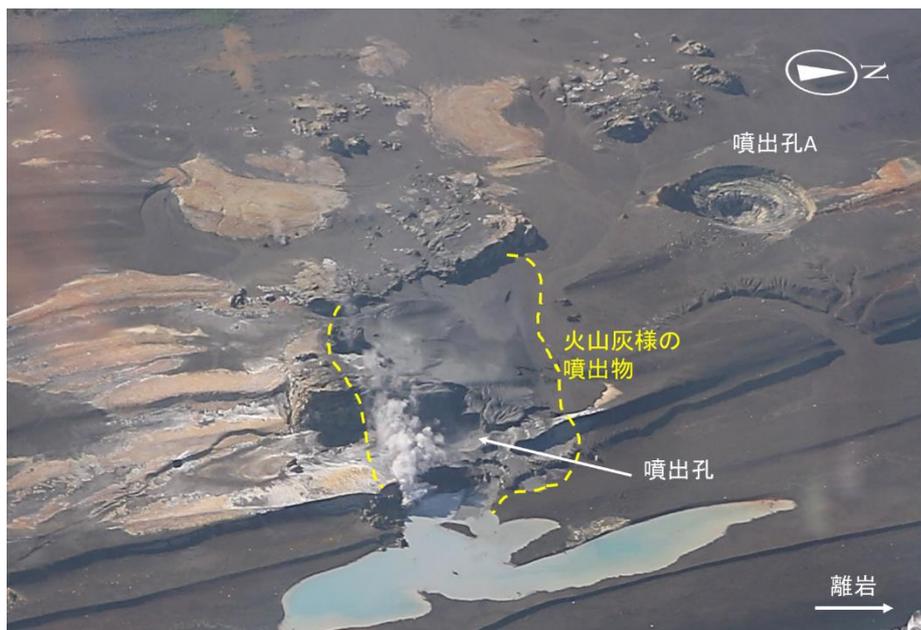
第 18 図 翁浜沖の新島の噴火
(近景)

2023 年 11 月 23 日 16:05 撮影

年月日	活 動 状 況
2023/12/4	<ul style="list-style-type: none"> ・硫黄島南岸の翁浜沖約 1km の新島について、噴煙、噴気及び溶岩流を認めなかった（第 19 図）。 ・11/23 と比較して新島が北方向に延伸していた。また、陸地の一部が消失していた（第 19 図）。 ・新島周辺に濃い茶褐色～濃い黄緑色の変色水域を認めた。浮遊物は見られなかった（第 19 図）。 ・離岩南部の噴出孔の周囲において、11/10 以降に新しく堆積した火山灰様の噴出物を認めた（第 20 図）。なお、噴出源がどの噴出孔かは特定できなかった。また、噴出孔の 1 箇所から白色噴気の放出を認め、付近に薄い青緑色の湯だまりを認めた（第 20 図）。噴出孔 A に湯だまりは認められなかった（第 20 図）。



第 19 図 翁浜沖の新島
2023 年 12 月 4 日 13:50 撮影



第 20 図 離岩南部の噴出孔
2023 年 12 月 4 日 13:51 撮影

年月日	活 動 状 況
2023/12/15	<ul style="list-style-type: none"> ・硫黄島南岸の翁浜沖約 1km の新島で噴火や噴気の放出は認められなかった（第 21、22 図）。 ・新島は 12/4 の観測と比較してさらに面積を減少させていた（第 21、22 図）。 ・大きな島は 12/4 時点での新島の西側部にあたり、東西約 200m、南北約 100m の大きさであった（第 21、22 図）。 ・12/4 時点の新島の東側部は直径約 20m の固結部を除き確認できなくなり、12/4 時点の新島北部は波が洗っており島は確認できなかった（第 21、22 図）。 ・新島周辺に濃い茶褐色の変色水域を認めた（第 21、22 図）。 ・離岩南部の噴出孔では、1 箇所から白色噴気の放出を認めた。噴出孔付近に薄い青緑色の湯だまりを認めた。噴出孔 A に湯だまりは認められなかった（第 23 図）。 ・離岩北部の海岸の 1 箇所で白色噴気を認めた（第 24 図）。 ・北ノ鼻西部の噴出孔 3 孔について、1 孔は薄い緑色、1 孔は黄緑色及び薄い緑色の変色水だまりを認め、残りの 1 孔はほぼ埋まっていた（第 25 図）。 ・硫黄島の南岸に茶褐色～黄緑色の変色水を認めた（第 21、22、26、27 図）。



第 21 図 翁浜沖の新島

2023 年 12 月 15 日 13:04 撮影



第 22 図 翁浜沖の新島 固結部
2023 年 12 月 15 日 12:56 撮影



第 23 図 離岩南部の噴出孔
2023 年 12 月 15 日 13:05 撮影



第 24 図 離岩北部の白色噴気
2023 年 12 月 15 日 13:05 撮影



第 25 図 北ノ鼻西部の噴出孔
2023 年 12 月 15 日 13:06 撮影



第 26 図 千鳥ヶ浜付近の変色水域
2023 年 12 月 15 日 13:07 撮影



第 27 図 摺鉢山周辺
2023 年 12 月 15 日 13:08 撮影

衛星「しきさい」(GCOM-C)による 硫黄島周辺の変色水の観測結果

硫黄島では、GCOM-C による観測開始 (2018 年) から現在まで、継続的に変色水を生じており、数十 km 程度の範囲に広がっている。最近では、2023 年 9 月 27 日に変色水が硫黄島から約 30km の範囲におよんでいた。GCOM-C による夜間の熱赤外線輝度温度について、2022 年 12 月以降は気温との温度差が前年より約 2°C 高い傾向がみられた。また、夜間の短波長赤外線について、2023 年 11 月 3 日～7 日に翁浜沖の新島付近において、輝点が観測された。

※衛星「しきさい」(GCOM-C)は、近紫外線・可視光線から熱赤外線までの 15 波長や、偏光により、19 チャンネル・250m 分解能で地上を観測する衛星である。輝度を正確に測定できるため、海色観測が得意な衛星センサである。

1. 硫黄島周辺の変色水観測結果

硫黄島では、GCOM-C による観測開始 (2018 年) から現在まで、継続的に変色水を生じている。表 1 に硫黄島周辺の変色水の観測結果の推移を示す。2021 年 9 月～2022 年 3 月、2023 年 1 月～2024 年 1 月時点まで、変色水が硫黄島から 10km を超える範囲に広がっていた。最近では、2023 年 9 月 27 日に変色水が硫黄島から約 30km の範囲に広がっていた (図 1)。

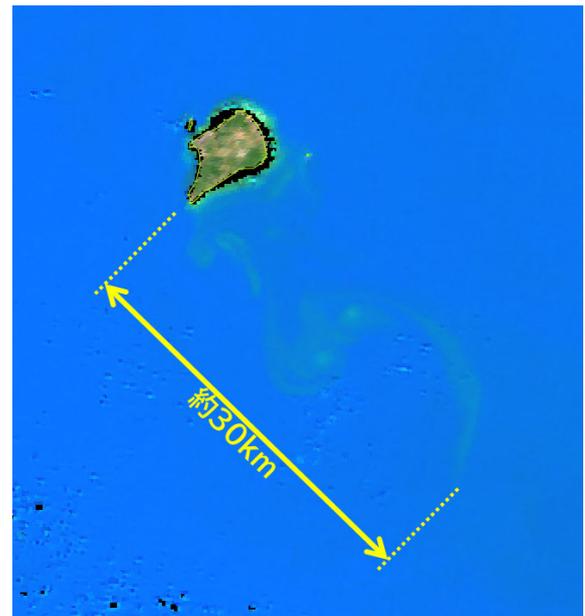
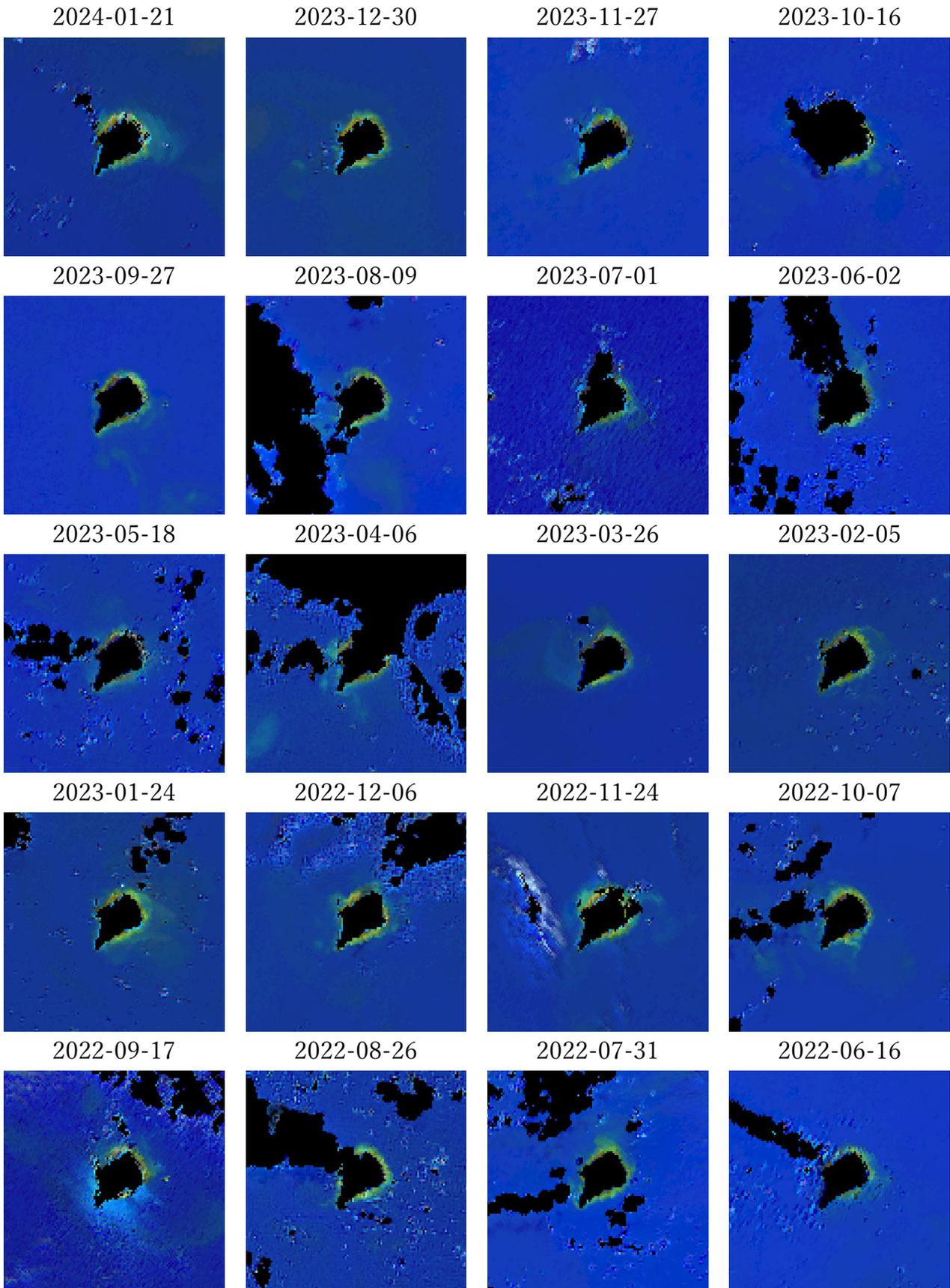
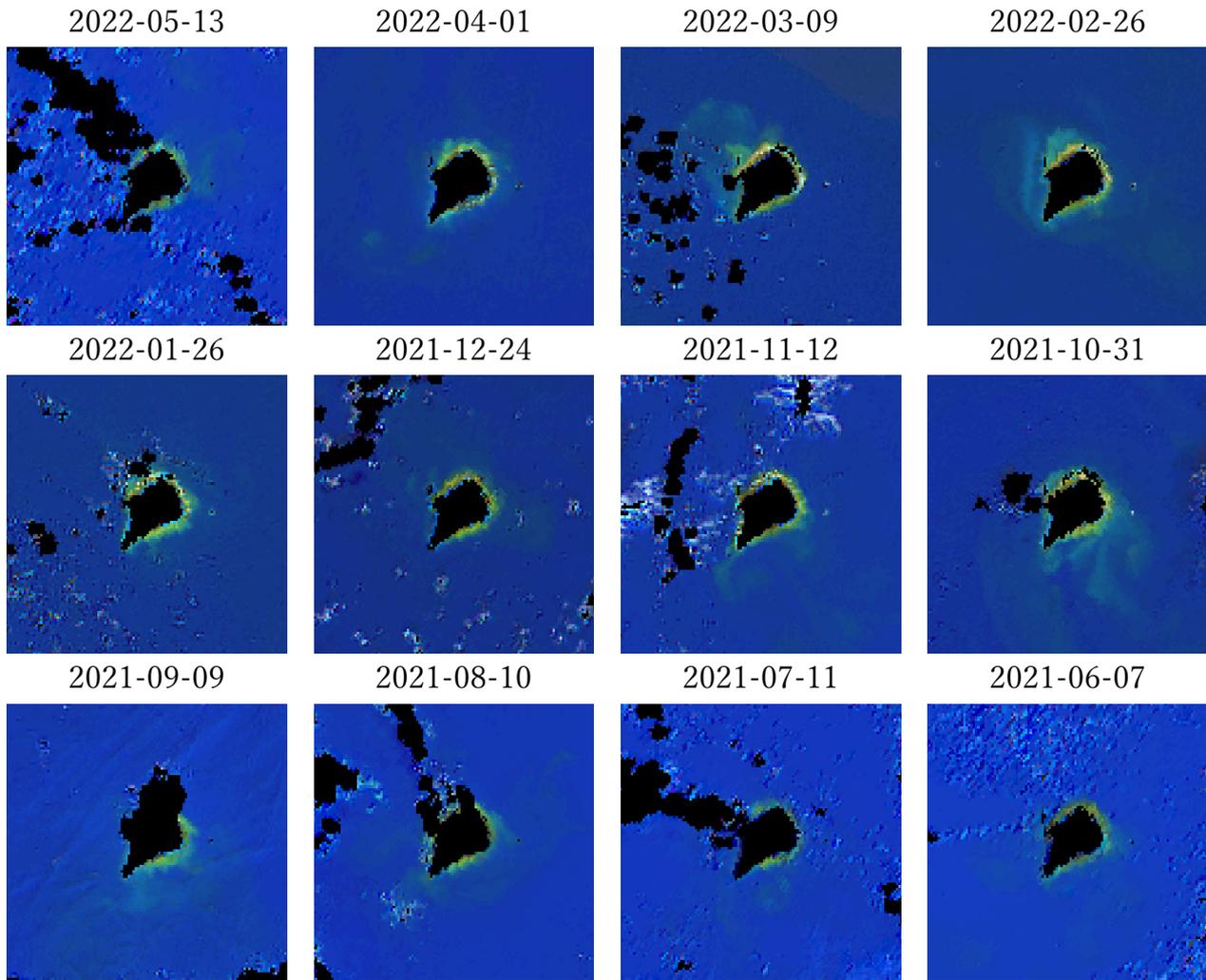


図 1: 硫黄島周辺の変色水 (2023 年 9 月 27 日観測、GCOM-C 海色可視画像)

表 1: 硫黄島の GCOM-C 海色可視画像 (30km 四方)





2. 硫黄島陸域における輝度温度と気温の温度差の推移

図 2 に、硫黄島陸域の GCOM-C 夜間観測における熱赤外線輝度温度と気温の温度差の最大値の推移を示す。夜間の地表面の温度は気温に近くなるが、地熱異常があれば地表面の温度が上昇し、気温との温度差を生じると考えられる。2022 年 12 月以降、気温との温度差が前年よりも約 2°C 高い傾向がみられる。

温度差の算出にあたり、気象庁の全球数値予報モデル(GSM)の日本域格子点値(GPV)データ(0.2 度グリッド)を使用した。衛星の熱赤外線輝度にもとづく温度は、季節変動や日々変動が大きく、火山活動による温度差がかき消される。そこで、気温との温度差を用いている。

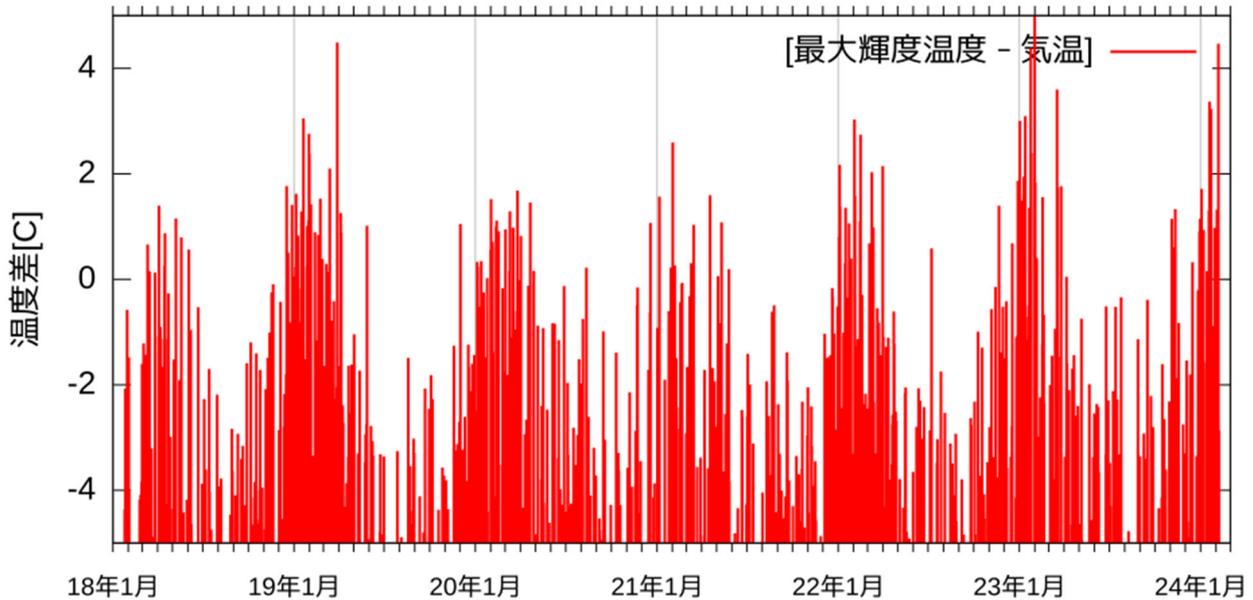


図 2: 硫黄島周辺の熱赤外線輝度温度と気温の差の最大値の推移

3. 硫黄島翁浜沖噴火時の熱赤外線輝度温度分布

図 3 に、GCOM-C が 10 月 29 日に硫黄島翁浜沖周辺を夜間観測した熱赤外線画像を示す。翁浜沖では、東西約 1km の範囲で海面の輝度温度が周囲より高くなっている様子が捉えられた。しかし、後述の通り短波長赤外線には輝点が見当たらず、噴火当初には、海面上に 200°C を超える高温の物体は存在しなかった可能性がある。

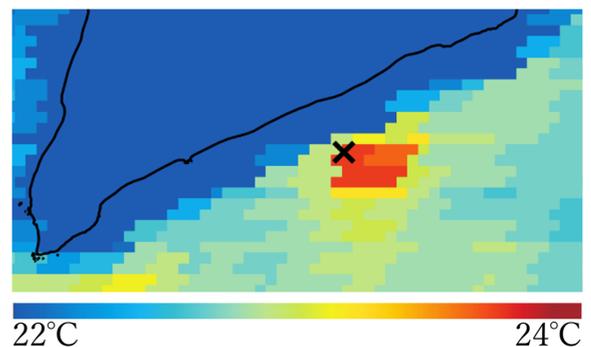


図 3: 硫黄島翁浜沖の熱赤外線画像 (2023 年 10 月 29 日)

4. 硫黄島周辺の夜間の短波長赤外線輝度分布

図 4 に、2023 年 11 月 7 日に GCOM-C が硫黄島周辺を夜間観測した短波長赤外線画像 (1.63μm) を示す。×印は 10 月 29 日の噴火により形成された新島の 10 月 30 日時点での位置を指す。

新島近傍では、11 月 3~7 日に短波長赤外線 (1.63μm) の輝点 (0.13~0.29W/str/m²/μm) が見られ、200°C 以上の高温部が存在していたことが分かった。なお、熱赤外線で輝点認められた 10 月 29 日には短波長赤外線の輝点は認められなかった。

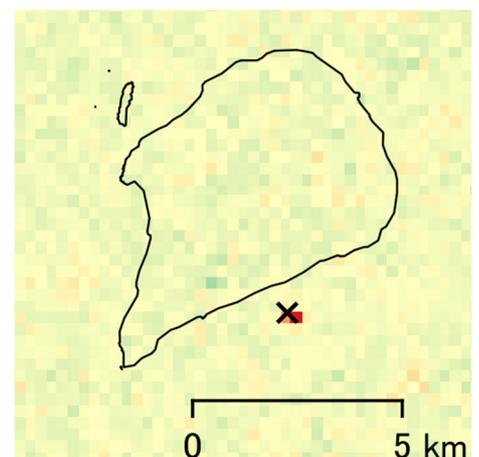


図 4: 硫黄島周辺の夜間短波長赤外線画像 (2023 年 11 月 7 日、1.63μm)

硫黄島

図 5 に、硫黄島周辺(10km 四方)の GCOM-C 夜間観測における短波長赤外線(1.63 μm)の最大輝度(最大値)の推移を示す。2023 年 11 月のピークは GCOM-C の観測開始以来、硫黄島周辺では初の高い輝度となっていた。この輝度は、少なくとも 200 $^{\circ}\text{C}$ 以上の高温部が存在することを示している。噴火時と比べるとかなり弱いものの、明確にノイズレベルを超える値である。

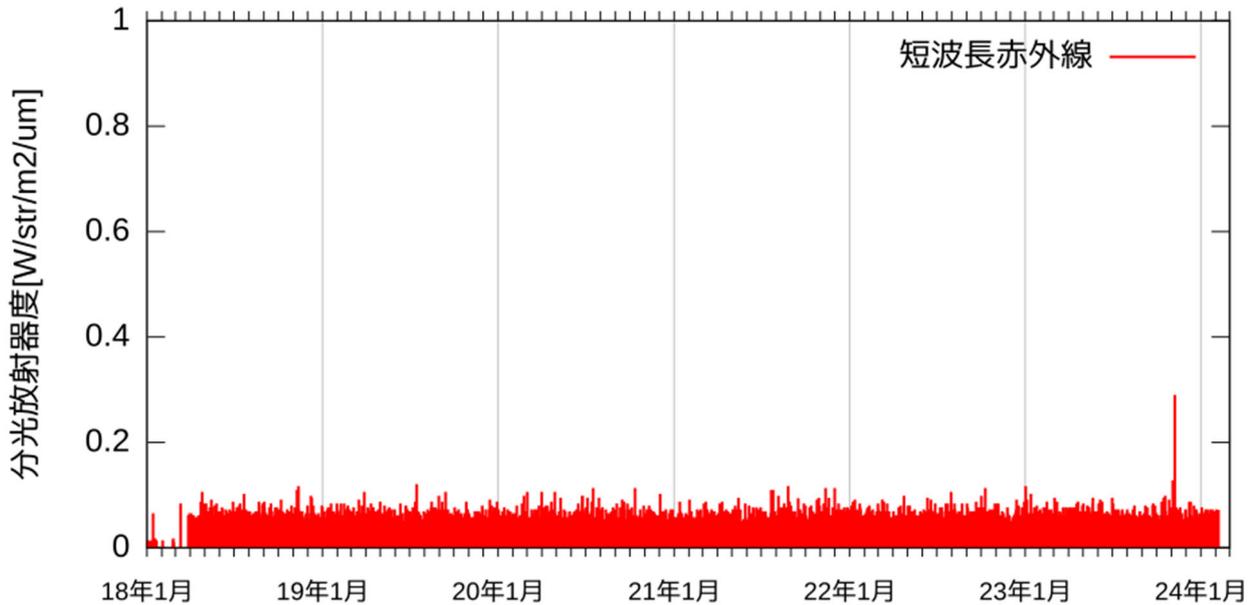
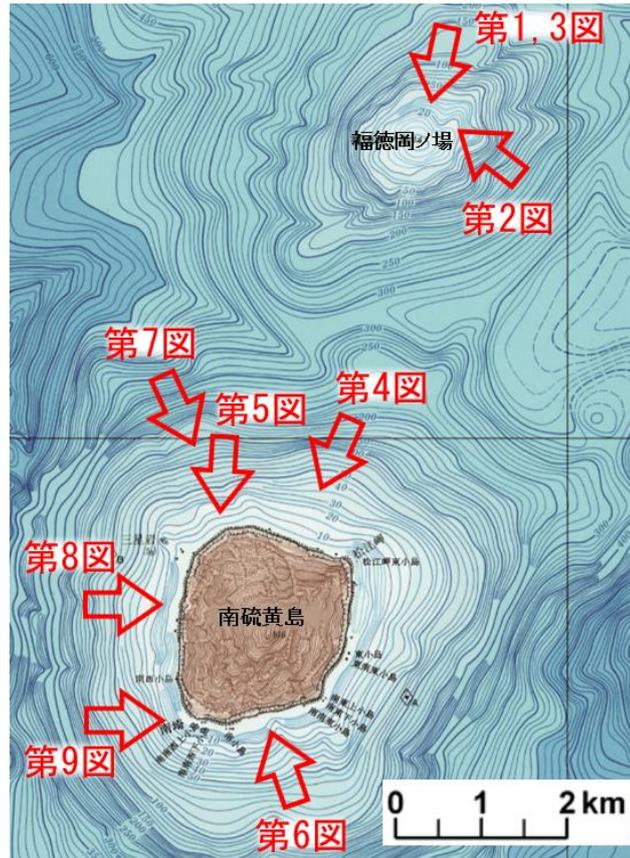


図 5: 硫黄島周辺の夜間の短波長赤外線輝度(最大値、1.63 μm)の推移

以上

福德岡ノ場・南硫黄島

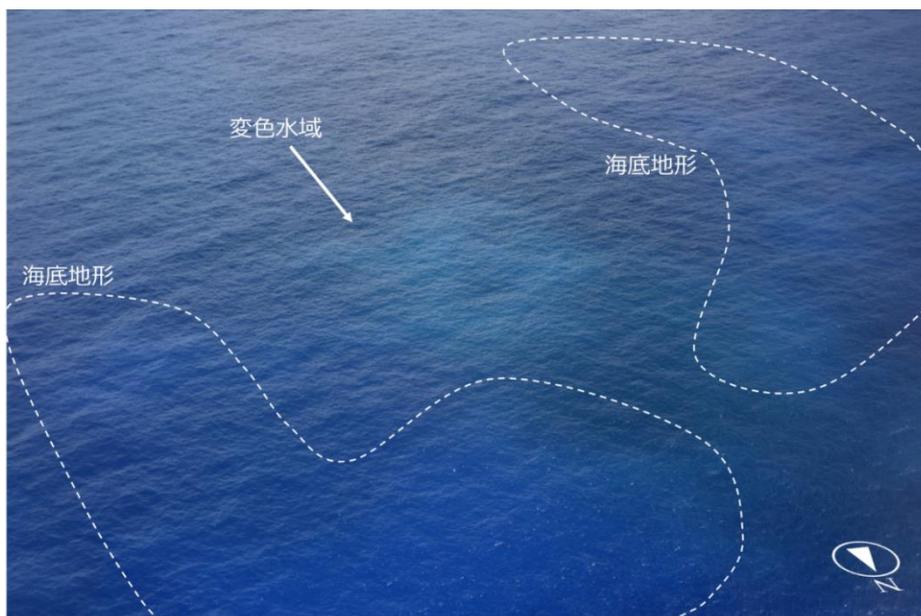


図には沿岸の海の基本図「6560-3」
(2012)を使用した。

福德岡ノ場

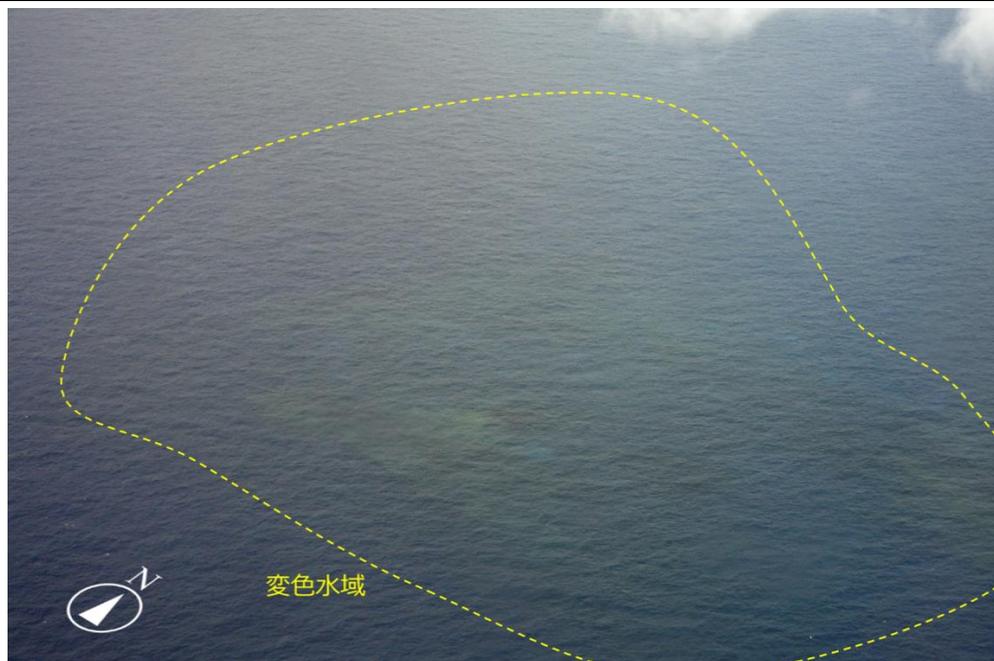
○ 最近の活動について

年月日	活 動 状 況
2023/6/14	波浪礁は認めず、福德岡ノ場から西方向に長さ約 3,000~4,000m に渡って流れる薄い緑色の変色水を認めた (第 1 図)。



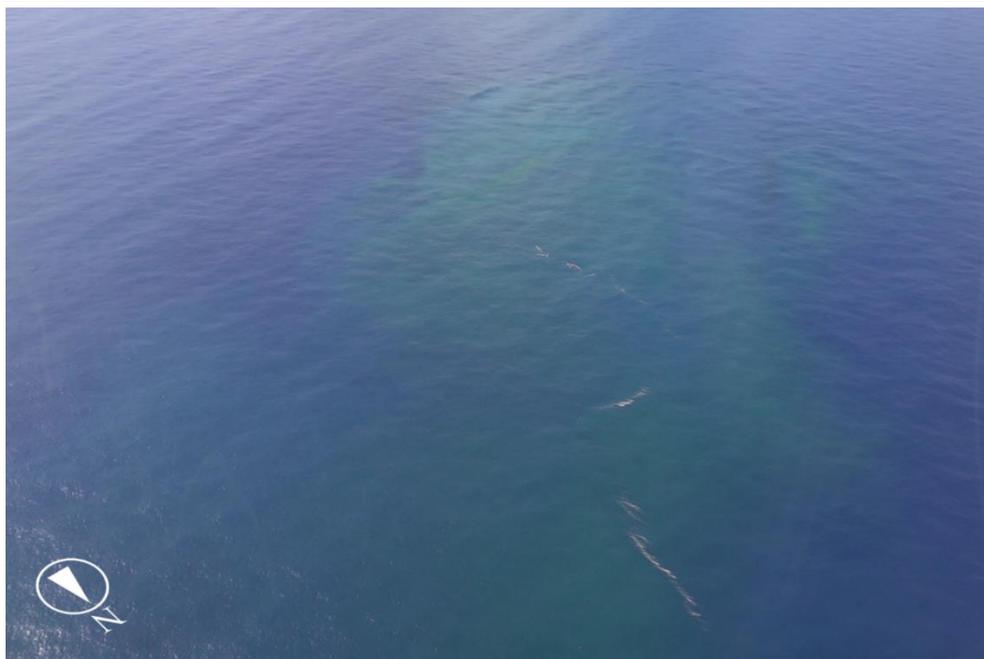
第 1 図 福德岡ノ場 変色水 2023 年 6 月 14 日 12:58 撮影

年月日	活 動 状 況
2023/9/20	波浪礁は認めず、福德岡ノ場付近に薄い黄緑色～薄い緑色の変色水を認めた（第 2 図）。



第 2 図 福德岡ノ場の変色水 2023 年 9 月 20 日 12:54 撮影

年月日	活 動 状 況
2023/10/4	<ul style="list-style-type: none"> ・波浪礁は認めず、福德岡ノ場のほぼ直上に薄い黄緑色～薄い緑色の変色水を認めた（第 3 図）。 ・福德岡ノ場のほぼ直上に帯状の茶褐色の浮遊物を認めた（第 3 図）。



第 3 図 福德岡ノ場の様子 2023 年 10 月 4 日 13:31 撮影

南硫黄島

○ 最近の活動について

年月日	活 動 状 況
2023/6/14	北岸に黄緑色から薄い緑色の変色水を認めた（第 4、5 図）。



第 4 図 南硫黄島 遠景 2023 年 6 月 14 日 12:52 撮影



第 5 図 南硫黄島 北岸の変色水 2023 年 6 月 14 日 12:52 撮影

年月日	活 動 状 況
2023/9/20	<ul style="list-style-type: none"> ・ 山頂部は雲で覆われており、確認できなかった。 ・ 変色水域等の特異事象は認められなかった（第 6 図）。



第 6 図 南硫黄島 2023 年 9 月 20 日 13:03 撮影

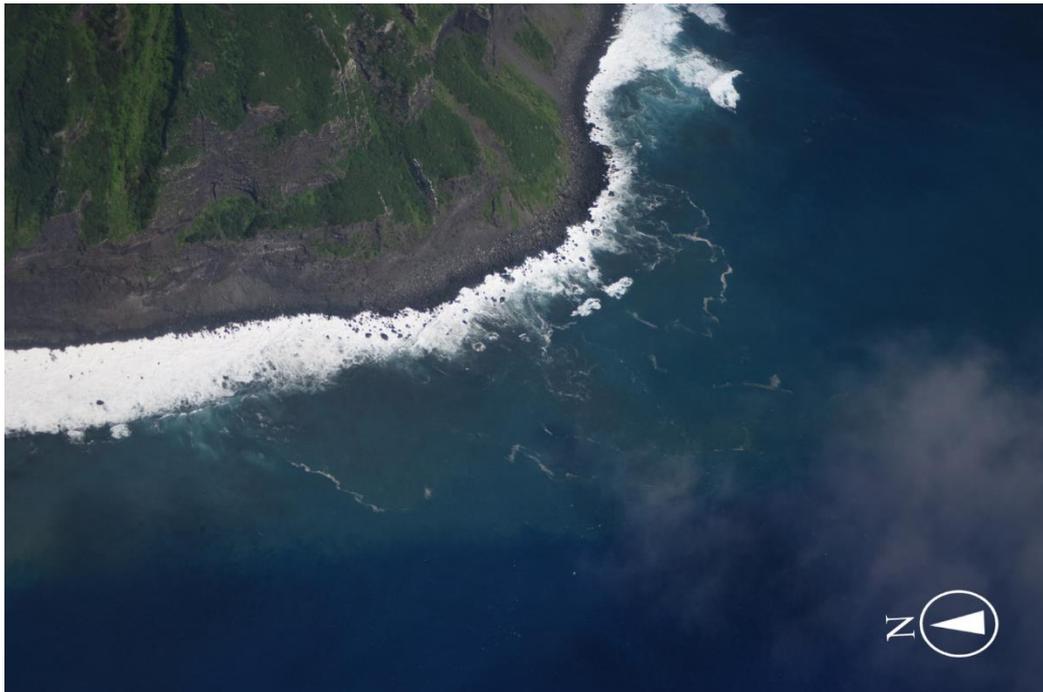
年月日	活 動 状 況
2023/10/4	<ul style="list-style-type: none"> ・ 山頂部は雲で覆われており、確認できなかった。 ・ 島の全周にわたり濃厚な茶褐色から緑色の変色水を認めた。なお、変色水はこれまでの観測例の中でも最も濃い部類に入るものであった（第 7、8 図）。 ・ 島の北～南西岸にかけての海上に浮遊物を認めた（第 9 図）。



第 7 図 南硫黄島 全景 2023 年 10 月 4 日 13:39 撮影



第 8 図 南硫黄島 西岸の変色水 2023 年 10 月 4 日 13:32 撮影



第 9 図 南硫黄島 南西岸の浮遊物 2023 年 10 月 4 日 13:32 撮影

衛星「しきさい」(GCOM-C)による 福德岡ノ場周辺の変色水の観測結果

福德岡ノ場周辺の変色水について、2022年4月までは、福德岡ノ場を中心に半径10kmを超えた範囲に、明確な変色水が広がることが認められた。しかし、2022年5月以降、明確な変色水が半径10kmを超えることは、確認できず変色も淡いものとなっていた。時期により半径10kmを超える変色水が観測されたが、2022年5月までと比べると、変色は淡いものであった。2024年1月以降は半径10kmを超える変色水は確認されなくなった。

※衛星「しきさい」(GCOM-C)は、近紫外線・可視光線から熱赤外線までの15波長や、偏光により、19チャンネル・250m分解能で地上を観測する衛星である。輝度を正確に測定できるため、海色観測が得意な衛星センサである。

1. 福德岡ノ場周辺の変色水観測結果

図1は、福德岡ノ場を中心に10km四方の範囲の可視海色画像を拡大したものである。画像中央から東へ緑色の変色水が確認できる。2021年8月の噴火時には変色水が差し渡し50kmの範囲に広がっていたことと比べると、福德岡ノ場の変色水は規模が縮小していた。ただし、噴火前の2021年5~7月には、変色水がほぼ認められなかったことに留意する必要がある。

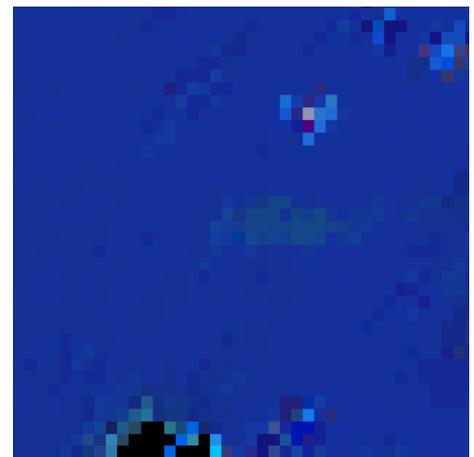
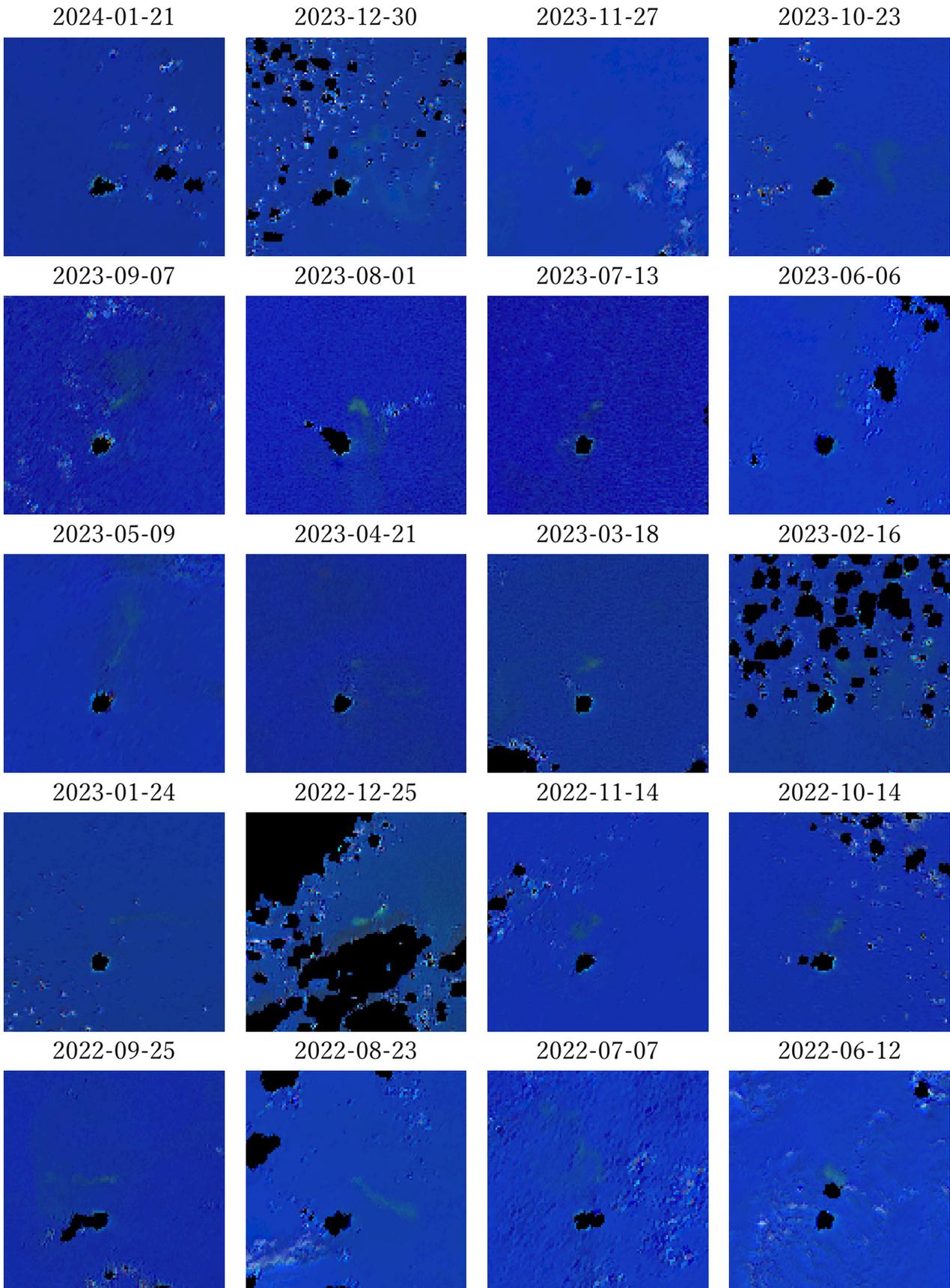
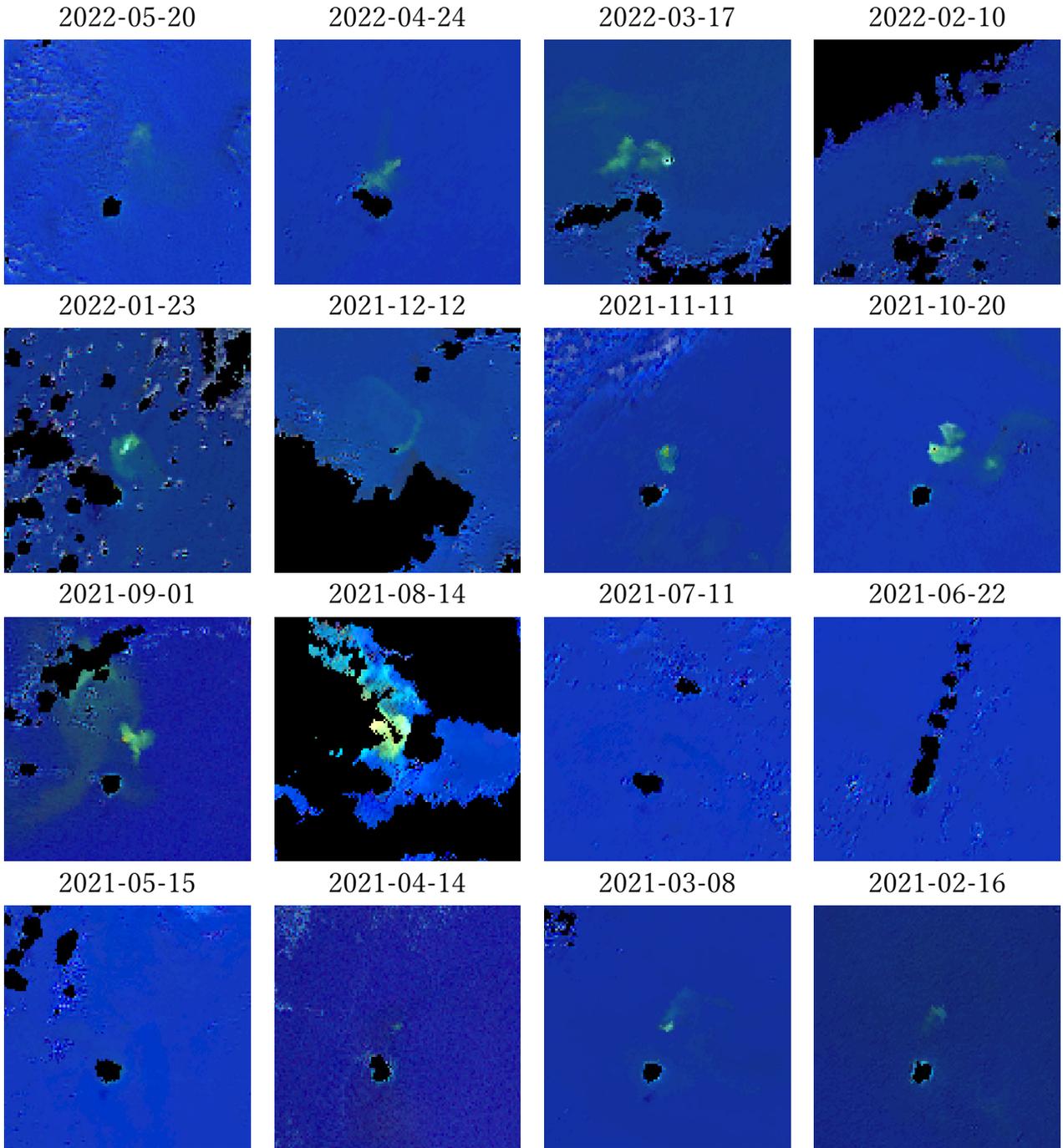


図1: 福德岡ノ場付近の可視海色画像 (2023年7月2日)

表1に西之島周辺の変色水の観測結果の推移を示す。表1の各画像は、GCOM-Cが観測した可視海色画像について、福德岡ノ場を中心に30km四方の範囲を切り出した画像である。2021年8月から翌年3月までは、福德岡ノ場から半径10kmを超える明確な変色水が観測されたが、2022年4月以降は、変色水は範囲が小さく、色も淡くなった。その後、2022年9月、11~12月、2023年2~5月、9~12月には、半径10kmを超える変色水が観測されたものの、2022年3月までと比べると、変色は淡いものであった。直近の2024年1月以降は半径10kmを超える変色水は確認されていない。

表 1: 福徳岡ノ場の GCOM-C 海色可視画像 (30km 四方、新しい順に掲載)





以上

気象庁資料に関する補足事項

1. データ利用について

- ・資料は気象庁のほか、以下の機関のデータも利用して作成している。

北海道地方（北方領土を含む）：国土交通省北海道開発局、国土地理院、北海道大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、北海道、地方独立行政法人北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所及び公益財団法人地震予知総合研究振興会

東北地方：国土交通省東北地方整備局、国土地理院、東北大学、弘前大学、北海道大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、青森県及び公益財団法人地震予知総合研究振興会

関東・中部地方：関東地方整備局、中部地方整備局、国土地理院、東北大学、東京工業大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、長野県、新潟県、山梨県、神奈川県温泉地学研究所及び公益財団法人地震予知総合研究振興会

伊豆・小笠原地方：国土地理院、東京大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、東京都

九州地方・南西諸島：九州地方整備局大隅河川国道事務所、九州地方整備局長崎河川国道事務所（雲仙砂防管理センター）、国土地理院、九州大学、京都大学、鹿児島大学、東京大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、宮崎県、鹿児島県、大分県、十島村、三島村、屋久島町、公益財団法人地震予知総合研究振興会及び阿蘇火山博物館

2. 一元化震源の利用について

- ・2001 年 10 月以降、Hi-net の追加に伴い検知能力が向上している。
- ・2010 年 10 月以降、火山観測点の追加に伴い検知能力が向上している。
- ・2016 年 4 月 1 日以降の震源では、M の小さな地震は、自動処理による震源を表示している場合がある。自動処理による震源は、震源誤差の大きなものが表示されることがある。
- ・2020 年 9 月以降の震源は、地震観測点の標高を考慮する等した手法で求められている。

3. 地図の作成について

- ・資料内の地図の作成には、国土地理院発行の『数値地図 25000 (行政界・海岸線・地図画像)』、『数値地図 50m メッシュ (標高)』、『基盤地図情報』及び『電子地形図 (タイル)』を使用した。